

**PENGARUH VARIASI SERABUT KELAPA TERHADAP
KARAKTERISTIK MARSHALL PADA ASPAL PORUS**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



RIDHWAN FALIH NAUFALI

NIM. 135060107111026

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI SERABUT KELAPA TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA ASPAL PORUS**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



RIDHWAN FALIH NAUFALI

NIM. 135060107111026

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 11 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr., Ir., M. Zainul Arifin, MT.
NIP. 19590813 198601 1 005

Hendi Bowoputro, ST., MT.
NIP. 19750910 200012 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng.
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Pengaruh Variasi Kadar dan Panjang Serabut Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall
Pada Aspal Porus

Nama Mahasiswa : Ridhwan Falih Naufali

NIM. : 135060107111026

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Transportasi

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ir. Ludfi Djakfar, MSCE, Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr., Ir., M. Zainul Arifin, MT.

Dosen Penguji 3 : Hendi Bowoputro, ST., MT.

Tanggal Ujian : 29 Juni 2018

SK Penguji : 1246/UN 10. F07/KP/2018

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Juli 2018

Mahasiswa,

Ridhwan Falih Naufali

NIM. 135060107111026

RIWAYAT HIDUP

Ridhwan Falih Naufali, kelahiran Malang, 28 September 1995, merupakan anak pertama dari bapak Herwintono dan ibu Nur Apriyantini. Mulai mengenyam bangku pendidikan dasar di Madrasah Ibtidaiyah Jendral Sudirman sejak tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 4 Malang dan lulus pada tahun 2010. Dan pada tahun 2013 telah dinyatakan lulus dari SMA Negeri 4 Malang Program Ilmu Pengetahuan Alam.

Pada tahun 2013 mulai menjejaki bangku perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Selama masa kuliah, aktif dalam beberapa kegiatan akademik maupun non-akademik..

Malang, Juli 2018

Penyusun

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa penulis ucapkan, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Kadar dan Panjang Serabut Kelapa terhadap Karakteristik Marshall pada Aspal Porus” dapat terselesaikan.

Penulisan laporan tugas akhir ini dilakukan bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Naskah skripsi ini akan membahas mengenai pengaruh variasi kadar dan variasi panjang serabut kelapa pada karakteristik *Marshall*.

Tersusunnya laporan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya tempat saya menimba ilmu.
2. Bapak Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan Program Studi S1 Teknik Sipil.
3. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST. MT., sebagai Kepala Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang selalu memberikan motivasi selama penulis menimba ilmu di Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Ir. M. Zainul Arifin, MT., sebagai pembimbing yang selalu mendukung penulisan laporan tugas akhir ini hingga selesai.
5. Bapak Hendi Bowoputro, ST, MT sebagai pembimbing yang selalu mendukung penulisan laporan tugas akhir ini hingga selesai.
6. Bapak Ir. Ludfi Djakfar, MSCE, Ph.D. sebagai ketua majelis yang mendukung penulisan laporan tugas akhir ini hingga selesai.
7. Seluruh jajaran dosen dan staf Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
8. Bapak dan Ibu sebagai orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan kasih sayang, mendoakan, dan mendukung penulis tanpa kenal lelah tiada henti.
9. Teman-teman “Veteran Baret Kuning” yang selalu mendukung serta memotivasi selama proses skripsi.
10. Orang terkasih yang membantu dan selalu menyemangati penulis.
11. Teman-teman “Orang-Orang Sukses” yang selalu memotivasi dan mendukung penulis.

12. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Brawijaya angkatan 2013.
13. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya.
14. Serta semua pihak terkait yang telah membantu dalam pembuatan dan penyusunan laporan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan terdapat kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca laporan tugas akhir ini. Penulis juga berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	4
2.1. Perkerasan Jalan Raya.....	4
2.1.1 Jenis Konstruksi Perkerasan dan Komponennya.....	4
2.2. Aspal	5
2.3. Aspal Porus	8
2.3.1. Kelebihan dan Kekurangan	9
2.3.2. Gradasi Aspal Porus	10
2.3.3. Pemakaian Aspal Porus	15
2.4. Agregat.....	17
2.4.1. Jenis – Jenis Agregat	17
2.4.2. Agregat Kasar	18
2.4.3. Agregat Halus	19
2.4.4. Filler.....	20
2.5. Serabut Kelapa.....	21
2.5.1. Komposisi Serat Sabut Kelapa	21
2.6. Campuran Aspal Panas (Hot Mix Asphalt)	22
2.7. Formula Perhitungan.....	24
2.8. Anova Tiga Arah (Three-Ways Anova)	30
2.9. Uji Duncan (DMRT).....	31
2.10. Hasil Studi Terdahulu	32
2.11. Hasil Uji Pendahuluan	33
BAB III METODE PENELITIAN	40
3. 1 Diagram Alir Peneltian	40

3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	41
3.3	Rancangan Penelitian.....	42
3.4	Bahan-Bahan Penelitian.....	43
3.5	Pengujian Material.....	44
3.6	Pembuatan Benda Uji	45
3.7	Pengujian Permeabilitas.....	49
3.8	Pengujian Marshall Standar	50
3.9	Pengolahan Data	51
3.9.1	Analisis Data.....	51
3.9.2	Hipotesa Statistik.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Pengujian Material.....	53
4.1.1	Pengujian Karakteristik Aspal	53
4.1.2	Pengujian Karakteristik Agregat	54
4.2	Pembuatan Benda Uji	55
4.2.1	Hasil Pengujian <i>Void In Mixture</i> (VIM).....	56
4.2.2	Hasil Pengujian <i>Flow</i>	56
4.2.3	Hasil Pengujian Stabilitas.....	57
4.2.4	Hasil Pengujian Marshall Quotient (MQ)	57
4.3	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	57
4.4	Analisa Statistik Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Aspal Porus	78
4.5	Pembahasan.....	95
4.5.1	Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik <i>Marshall</i>	96
4.6	Permeabilitas.....	97
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		98
DAFTAR PUSTAKA.....		100

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70	6
Tabel 2.2	Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal untuk	7
	Pencampuran dan Pemadatan	
Tabel 2.3	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi	7
Tabel 2.4	Pengurangan Polutan pada Aspal Porus	9
Tabel 2.5	Gradasi Agregat Aspal Porus	10
Tabel 2.6	Gradasi Aspal Porus Standar California	11
Tabel 2.7	Gradasi Aspal Porus Standar Australia	12
Tabel 2.8	Gradasi Aspal Porus Standar British	13
Tabel 2.9	Tabel Gradasi Aspal Porus	15
Tabel 2.10	Komposisi Agregat Kasar	18
Tabel 2.11	Ketentuan Agregat Kasar	19
Tabel 2.12	Komposisi Agregat Halus	19
Tabel 2.13	Ketentuan Agregat Halus	19
Tabel 2.14	Komposisi Agregat Halus (AASHTO 29-70)	20
Tabel 2.15	Ukuran Saringan dan Persentase Berat Lolosnya	20
Tabel 2.16	Komposisi Serat Sabut Kelapa	21
Tabel 2.17	Hasil Studi Terdahulu	34
Tabel 2.18	Hasil Uji Pendahuluan	38
Tabel 3.1	Jumlah Benda Uji	44
Tabel 3.2	Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar Australia	45
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70	53
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Batu Pecah	54
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Batu Pecah	54
Tabel 4.4	Rancangan Pembuatan Benda Uji	55
Tabel 4.5	Nilai VIM (%)	56
Tabel 4.6	Nilai <i>Flow</i> (mm)	57
Tabel 4.7	Nilai Stabilitas (kg)	57
Tabel 4.8	Nilai MQ (kg/mm)	57
Tabel 4.9	Hasil Nilai Karakteristik <i>Marshall</i> Australia (5 mm /1 %)	61
	Dengan KAO 4,54%	
Tabel 4.10	Rekap Hasil Karakteristik <i>Marshall</i>	62
Tabel 4.11	Hasil Iterasi Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 4%	63
Tabel 4.12	Hasil Iterasi Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 5%	64

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 4.13	Hasil Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 6%	65
Tabel 4.14	Hasil Grafik 3D <i>Flow</i> pada Kadar Aspal 4%	66
Tabel 4.15	Hasil Grafik 3D <i>Flow</i> pada Kadar Aspal 5%	67
Tabel 4.16	Hasil Grafik 3D <i>Flow</i> pada Kadar Aspal 6%	68
Tabel 4.17	Hasil Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 4%	69
Tabel 4.18	Hasil Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 5%	70
Tabel 4.19	Hasil Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 6%	71
Tabel 4.20	Hasil Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 4%	72
Tabel 4.21	Hasil Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 5%	73
Tabel 4.22	Hasil Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 6%	74
Tabel 4.23	Rekapitulasi Hasil Grafik 3D Karakteristik <i>Marshall</i> Pada	75
	Masing-Masing Kadar Aspal (4%, 5%, 6%)	
Tabel 4.24	Rekapitulasi Kadar Aspal , Kadar Serabut Kelapa dan Panjang	77
	Serabut Kelapa Optimum	
Tabel 4.25	Uji Pengaruh Antar Parameter untuk VIM	79
Tabel 4.26	Uji Duncan VIM KadarAspal	80
Tabel 4.27	Uji Duncan VIM Kadar Serabut Kelapa.....	80
Tabel 4.28	Uji Duncan VIM Panjang Serabut Kelapa.....	80
Tabel 4.29	Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal dengan.....	81
	Kadar Serabut Kelapa	
Tabel 4.30	Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Panjang.....	81
	Serabut Kelapa	
Tabel 4.31	Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Serabut Kelapa dengan Panjang	82
	Serabut Kelapa	
Tabel 4.32	Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa,	82
	dan Panjang Serabut Kelapa	
Tabel 4.33	Uji Pengaruh Antar Parameter untuk <i>Flow</i>	83
Tabel 4.34	Uji Duncan <i>Flow</i> KadarAspal.....	84
Tabel 4.35	Uji Duncan <i>Flow</i> Kadar Serabut Kelapa	84
Tabel 4.36	Uji Duncan <i>Flow</i> Panjang Serabut Kelapa	84
Tabel 4.37	Uji Duncan <i>Flow</i> Interaksi Antara Kadar Aspal dengan	85
	Kadar Serabut Kelapa	
Tabel 4.38	Uji Duncan <i>Flow</i> Interaksi Antara Kadar Aspal dengan	85
	Panjang Serabut Kelapa	
Tabel 4.39	Uji Duncan <i>Flow</i> Interaksi Antara Kadar Serabut Kelapa dengan	86
	Panjang Serabut Kelapa	

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 4.40	Uji Duncan <i>Flow</i> Interaksi Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut..... Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	86
Tabel 4.41	Uji Pengaruh Antar Parameter untuk Stabilitas	87
Tabel 4.42	Uji Duncan Stabilitas KadarAspal	88
Tabel 4.43	Uji Duncan Stabilitas Kadar Serabut Kelapa.....	88
Tabel 4.44	Uji Duncan Stabilitas Panjang Serabut Kelapa.....	89
Tabel 4.45	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal dengan.. Kadar Serabut Kelapa	89
Tabel 4.46	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal dengan	89
	Panjang Serabut Kelapa	
Tabel 4.47	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Serabut Kelapa..... dengan Panjang Serabut Kelapa	90
Tabel 4.48	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut	90
	Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	
Tabel 4.49	Uji Pengaruh Antar Parameter untuk Stabilitas	91
Tabel 4.50	Uji Duncan Stabilitas KadarAspal	92
Tabel 4.51	Uji Duncan Stabilitas Kadar Serabut Kelapa.....	92
Tabel 4.52	Uji Duncan Stabilitas Panjang Serabut Kelapa.....	92
Tabel 4.53	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal dengan.. Kadar Serabut Kelapa	93
Tabel 4.54	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal dengan	93
	Panjang Serabut Kelapa	
Tabel 4.55	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Serabut Kelapa..... Panjang Serabut Kelapa	93
Tabel 4.56	Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut	94
	Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	
Tabel 4.57	Rekapitulasi Analisis Statistik ANOVA Tiga Arah	95
Tabel 4.58	Rekapitulasi Hasil Karakteristik <i>Marshall</i>	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Perkerasan Lentur	4
Gambar 2.2 Komponen Perkerasan Kaku	5
Gambar 2.3 Komponen Perkerasan Komposit.....	5
Gambar 2.4 Keuntungan Aspal Porus Dibanding Perkerasan Konvensional	9
Gambar 2.5 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar California.....	11
Gambar 2.6 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk	12
Ukuran Maksimal 10 mm	
Gambar 2.7 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk	13
Ukuran Maksimal 10 mm	
Gambar 2.8 Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar British	14
Gambar 2.9 Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Berdasarkan	14
Standar California, Australia dan British	
Gambar 2.10 Gradasi Aspal Porus	15
Gambar 2.11 Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Hackessin, Delaware.....	16
Gambar 2.12 Konstruksi Aspal Porus Pada Jalan Perumahan di Macon, Georgia.....	16
Gambar 2.13 Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Roswell, Georgia	16
Gambar 2.14 Konsep Ikatan Antar Butiran Agregat Pada Campuran Aspal, Georgia	17
Gambar 2.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM	38
Gambar 2.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas	38
Gambar 2.17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow	39
Gambar 2.18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kekakuan Marshall (MQ)	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan.....	46
Standar Australia	
Gambar 3.3 Automatic Asphalt Compactor.....	47
Gambar 3.4 Alat Uji <i>Marshall</i>	47
Gambar 3.5 Bak Perendam (<i>Waterbath</i>).....	48
Gambar 3.6 Skema Percobaan <i>falling head</i>	50
Gambar 4.1 Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa	58
5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%	
Gambar 4.2 Grafik Hubungan <i>Flow</i> pada Panjang Serabut Kelapa	58
5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%	
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa.....	59
5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%	

Gambar 4.4 Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa	59
5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%	
Gambar 4.5 Grafik Pita Campuran Aspal Porus Standar Australia	60
Gambar 4.6 Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 4%	63
Gambar 4.7 Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 5%	64
Gambar 4.8 Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 6%	65
Gambar 4.9 Grafik 3D Flow pada Kadar Aspal 4%	66
Gambar 4.10 Grafik 3D Flow pada Kadar Aspal 5%	67
Gambar 4.11 Grafik 3D Flow pada Kadar Aspal 6%	68
Gambar 4.12 Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 4%	69
Gambar 4.13 Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 5%	70
Gambar 4.14 Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 6%	71
Gambar 4.15 Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 4%	72
Gambar 4.16 Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 5%	73
Gambar 4.17 Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 6%	74
Gambar 4.18 Grafik 3D Penentuan Kadar Serabut Kelapa dan.....	76
Panjang Serabut Kelapa Optimum Pada Kadar Aspal 4%	
Gambar 4.19 Grafik 3D Batas Nilai Stabilitas Penentuan Kadar Serabut Kelapa.....	77
dan Panjang Serabut Kelapa Optimum Pada Kadar Aspal 4%	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Pengujian Karakteristik Agregat
Lampiran 2.	Pengujian Karakteristik Aspal
Lampiran 3.	Pengujian Marshall (Stabilitas, Flow, MQ, VIM dan VMA)
Lampiran 4.	Penentuan Kadar Aspal Optimum Berdasarkan Grafik Pita

RINGKASAN

Ridhwan Falih Naufali., Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Variasi Panjang dan Kadar Serabut Kelapa terhadap Karakteristik Marshall pada Aspal Porus*, Dosen Pembimbing : Dr., Ir. M. Zainul Arifin., MT dan Hendi Bowoputro, ST., MT.

Aspal porus mempunyai karakteristik sifat porositas yang tinggi dikarenakan campuran tersebut didesain dengan agregat halus lebih sedikit dibanding campuran aspal lainnya. Jalan raya di Indonesia sering terjadi genangan, oleh sebab itu digunakan aspal porus untuk mengalirkan air melalui permukaan aspal dan pori aspal. Pada umumnya aspal porus memiliki stabilitas yang rendah sehingga perlu upaya untuk meningkatkan stabilitas *Marshall* pada campuran aspal porus.

Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi optimum kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa dengan variasi kadar aspal 4%, 5% dan 6%, serta melihat ada atau tidaknya pengaruh variasi kadar dan panjang serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall* pada aspal porus.

Pada penelitian ini perlakuan yang digunakan yaitu dengan membuat campuran aspal perkerasan dengan variasi kadar aspal 4%, 5% dan 6%, variasi kadar serabut kelapa 0.5%, 0.75% dan 1%, serta panjang serabut kelapa 2.5 mm, 5 mm serta 7.5 mm dengan perulangan 3 buah setiap variasi. Standar gradasi yang digunakan pada penelitian ini adalah standar gradasi Aspal Porus Australia dan untuk spesifikasinya menggunakan karakteristik *Marshall* dari standar Australia (AAPA). Setelah itu dibuat benda uji menggunakan aspal pen 60/70 dan kemudian dicampur serta dipadatkan pada suhu $140^{\circ} - 160^{\circ} \text{C}$ sesuai standar Bina Marga. Kemudian dilakukan uji Permeabilitas untuk mengetahui kecepatan air yang mengalir pada campuran aspal porus.

Dari hasil yang diperoleh, nilai optimum pada kadar aspal, kadar serabut kelapa serta panjang serabut kelapa menggunakan metode grafik 3D adalah 4%, 0,75% dan 5 mm. Penambahan serabut kelapa mampu meningkatkan nilai MQ sebesar 114% dari 112,56 kg/mm menjadi 240,86 kg/mm dan nilai stabilitas sebesar 60,927% dari 388,32 kg menjadi 624,913 kg. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi material standar gradasi lain.

Kata Kunci : Aspal Porus, Serabut Kelapa, VIM, Stabilitas, Standar Gradasi Australia, Karakteristik *Marshall*, Standar AAPA

SUMMARY

Ridhwan Falih Naufali., Civil Department, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, The Effect of Variation In Length and Content of the Coconut Fibers to Marshall Characteristic in Porous Asphalt, Supervisor: Dr. Ir. M. Zainul Arifin., MT and Hendi Bowoputro, ST., MT.

Porous asphalt has a higher porosity because the asphalt is design with less fine aggregate than the other asphalt mixture. Some highway in Indonesia often occurs puddles, therefore porous asphalt are used to drain water through surface layer and pores of porous asphalt. Generally, porous asphalt has low stability so it is necessary to improve Marshall stability on porous asphalt.

The purpose of this study are to determine the optimum length of coconut fibers and percentage content of coconut fibers should be added to porous asphalt mixture with variation asphalt content 4%, 5%, 6%, and to determine whether or not the effect of length and percentage content of coconut fibers to Marshall characteristic.

In this research, treatment used is by making a mixture of asphalt pavement with variation of 4%, 5% and 6% of asphalt content, 0.5%, 0.75% and 1% of coconut fibers content and 2.5%, 5% and 7.5% of coconut fibers length with 3 reiteration every variation. The standard used in this research are standard gradation from Australian porous asphalt standards and for the specifications use Marshall characteristics from Australian standards (AAPA). After that, the specimen made with asphalt pen 60/70 then mixed and compacted at 140⁰ – 160⁰ Celcius according to the Bina Marga standard. Later on, testing the permeability which serves to determine the speed of water that flowing through the porous asphalt.

From the results, the optimum content of asphalt, content of coconut fibers and length of coconut fibers using 3D Grapichs method are 4%, 0,75% and 5 mm. The addition of coconut fibers is able to improve the value of MQ by 114% from 112,56 kg/mm to 240,86 kg/mm and the value of stability by 60,927% from 388,32 kg to 624,913 kg. It is necessary to do further research using other gradation standard.

Keywords: Porous Asphalt, Coconut Fibers, VIM, Stability, Standard Gradation of Australia, Marshall Characteristics, AAPA Standard.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara daerah tropis yang memiliki dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Saat musim hujan datang banjir terjadi dimana-mana yang dimana akibat dari kurangnya ruang terbuka hijau yang ada, sistem drainase yang buruk serta perkerasan jalan yang tidak dapat menyerap air hujan langsung ke tanah. Tata guna lahan yang berubah menjadi lahan pembangunan juga menjadi salah satu terjadinya genangan. Sehingga saat musim kemarau datang air tanah menjadi tidak layak untuk dikonsumsi oleh masyarakat.

Prasarana jalan pada saat ini merupakan suatu komponen penting dimana aktifitas masyarakat untuk menunjang kegiatan sosial dan ekonomi dalam memenuhi kebutuhan hidup serta pembangunan wilayah. Transportasi darat saat ini merupakan sarana yang tepat digunakan oleh masyarakat sehingga tanpa adanya prasarana jalan, kegiatan perekonomian masyarakat akan terganggu. Kebutuhan prasarana jalan dikatakan baik apabila segi kenyamanan, keselamatan dan keamanan dapat terspenuhi dan tidak terjadi kerusakan prasarana jalan.

Masalah mengenai penyebab terjadinya kerusakan jalan seperti genangan air, pengelupasan permukaan aspal menimbulkan adanya pemikiran tentang pengembangan penggunaan perkerasan konvensional yang mampu menyelesaikan masalah-masalah genangan air yaitu aspal porus. Pemilihan aspal porus dinilai cocok untuk kondisi curah hujan di Indonesia karena memiliki rongga-rongga pada campuran aspal tersebut dikarenakan komposisi agregat halus yang rendah sehingga memudahkan air mengalir melalui permukaan aspal dan melalui rongga-rongga campuran aspal tersebut.

Meskipun aspal porus memiliki keuntungan dalam segi fungsi drainase, aspal porus memiliki nilai stabilitas rendah dikarenakan banyaknya rongga pada lapisan aspal porus. Sehingga dalam hal ini diperlukan modifikasi untuk meningkatkan nilai stabilitas pada campuran aspal porus. Pada dewasa ini, dunia pengembangan konstruksi Indonesia masih dihubungkan dengan penggunaan limbah dalam proses modifikasi. Atas dasar pemikiran tersebut, dilakukan pemanfaatan limbah untuk dapat meningkatkan nilai stabilitas aspal

porus. Limbah serabut kelapa pada saat ini banyak tidak digunakan sehingga diharapkan dapat meningkatkan nilai stabilitas pada aspal porus. Nantinya akan dibandingkan nilai stabilitas ketika aspal porus ditambahkan limbah serabut kelapa dengan yang tidak

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dinyatakan bahwa limbah serabut kelapa dapat meningkatkan stabilitas namun tidak terlalu signifikan. Penelitian tentang kadar serabut kelapa pada campuran aspal porus pernah dilakukan namun tidak memperhatikan panjang serabut kelapa yang dipotong. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall* dalam campuran aspal porus berdasarkan panjang dan kadar serabut kelapa yang diharapkan dapat memberikan pengaruh terhadap stabilitas aspal porus.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berdasarkan beberapa penjelasan diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Pemanfaatan dan penggunaan serabut kelapa minim dilakukan di Indonesia khususnya di bidang infrastruktur.
- b. Aspal porus dirasa cocok untuk diterapkan pada tipe perkerasan jalan yang ada di Indonesia dikarenakan memiliki rongga yang dapat mengalirkan air.
- c. Perkerasan aspal porus memiliki stabilitas rendah.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

- a. Berapa presentase kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa optimum yang ditambahkan pada campuran aspal porus?
- b. Bagaimana pengaruh penambahan serabut kelapa terhadap karakteristik nilai *Marshall*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Penginderaan Jauh Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- b. Material yang digunakan berasal dari daerah Malang dan sekitarnya.
- c. Penelitian ini menggunakan bahan tambah serabut kelapa berasal dari daerah Jawa Timur dan sekitarnya.

- d. Penelitian ini tidak membahas secara rinci masalah ikatan kimia antara aspal dengan serabut kelapa.
- e. Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi Australia. Dikarenakan pada penelitian sebelumnya gradasi Australia memiliki komposisi agregat yang lebih beragam, namun stabilitas rendah. Sehingga diharapkan ketika ditambahkan serabut kelapa didapat campuran aspal porus yang nilai stabilitas dan VIM baik.
- f. Karakteristik yang dibandingkan hanya VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ.

1.5 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui komposisi optimum panjang serabut kelapa dan kadar serabut kelapa optimum dengan variasi kadar aspal 4%, 5% dan 6% pada aspal porus.
- b. Mengetahui kinerja campuran aspal porus menggunakan bahan tambahan serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall*.

1.6 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada:

- a. Manfaat bagi Akademisi
Berguna sebagai tinjauan pustaka untuk penelitian aspal porus selanjutnya. Selain itu juga menjadi suatu ilmu baru dalam perkerasan jalan di Indonesia.
- b. Manfaat bagi Praktisi
Berguna sebagai dasar penentuan material gradasi perkerasan aspal porus agar jalan yang dikerjakan layak digunakan dan memiliki nilai lebih.
- c. Manfaat bagi Pemerintah
Sebagai peningkatan layanan jalan terhadap masyarakat yang menggunakan dan juga mengurangi anggaran pembangunan dan perawatan jalan.
- d. Manfaat bagi Masyarakat
Mengurangi resiko kecelakaan akibat tergenangnya air, mengurangi resiko banjir, juga meningkatkan kelancaran lalu lintas.
- e. Manfaat bagi Lingkungan
Mengurangi limbah serabut kelapa serta memberikan perbaikan pada proses penyerapan air oleh tanah.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

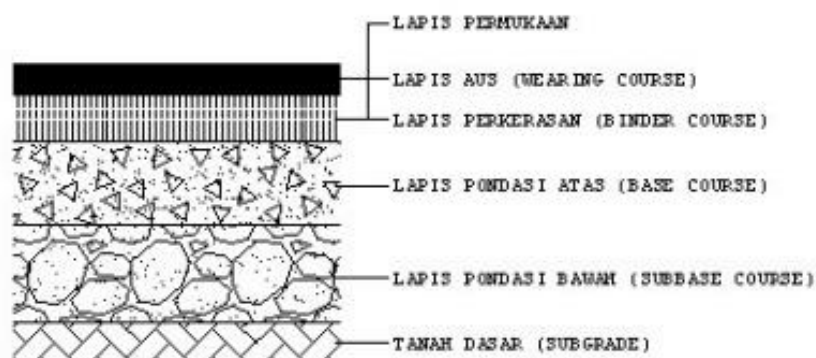
2.1. Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan raya merupakan bagian jalan raya yang diberi perkerasan dengan lapisan konstruksi tertentu memiliki kekuatan, ketebalan, kekakuan dan kestabilan agar mampu menyalurkan beban lalu lintas yang terus berjalan ke tanah dasar secara aman. Perkerasan jalan termasuk lapisan perkerasan yang berada pada lapisan tanah dasar dan roda kendaraan sehingga berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan.

2.1.1. Jenis Konstruksi Perkerasan dan Komponennya

Konstruksi perkerasan terdiri dari beberapa jenis sesuai dengan bahan pengikat serta komponen pada konstruksi, antara lain:

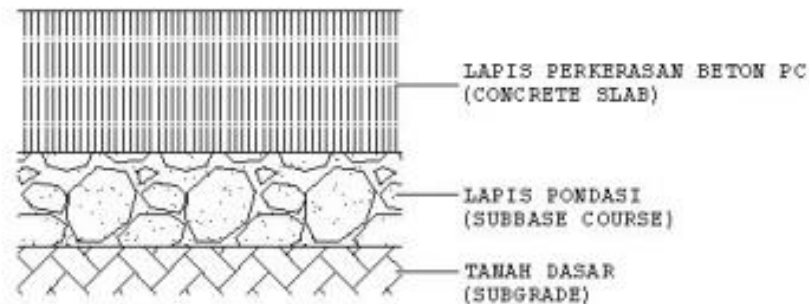
1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
 - a. Bahan pengikat berupa aspal.
 - b. Memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar merupakan sifat dari perkerasan ini.
 - c. Pengaruh pada repetisi beban adalah timbul *rutting* (lendutan pada jalur roda).
 - d. Pengaruh pada penurunan tanah dasar merupakan jalan yang bergelombang (mengikuti tanah dasar).



Gambar 2.1 Komponen Perkerasan Lentur

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

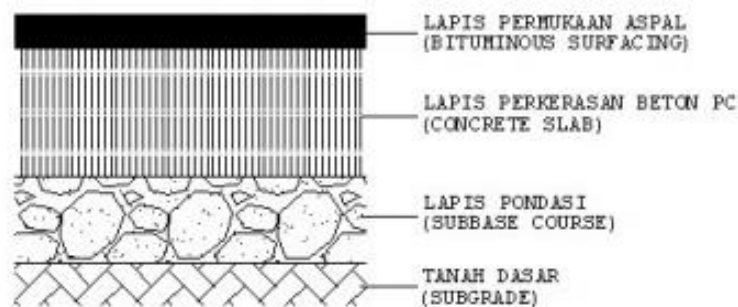
- Bahan pengikat berupa semen Portland (PC).
- Memikul sebagian besar beban lalu lintas merupakan sifat lapisan utama (plat beton).
- Pengaruh repetisi beban yaitu timbul retak-retak pada permukaan jalan.
- Pengaruh pada penurunan tanah dasar bersifat sebagai balok pada permukaan jalan.



Gambar 2.2 Komponen Perkerasan Kaku

3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

- Merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.
- Perkerasan kaku diatas perkerasan lentur ataupun sebaliknya.



Gambar 2.3 Komponen Perkerasan Komposit

2.2. Aspal

Aspal merupakan bahan bersifat semen sebagai material perekat berwarna coklat gelap kehitaman, padat atau cair dengan unsur bitumen. Aspal merupakan bahan pengikat dalam perkerasan yang mempunyai sifat viskoelastis. Aspal juga bersifat termoplastis dimana aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu dan kembali membeku jika temperatur suhu turun.

Fungsi dari aspal yaitu sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Sebagai bahan pengikat, aspal berfungsi untuk merekatkan campuran atas aspal dengan agregat maupun aspal itu sendiri. Sedangkan aspal sebagai bahan pengisi, berfungsi mengisi setiap rongga-rongga dalam agregat. Penggunaan yang paling umum adalah aspal keras pen 60/70 atau pen 80/100. Persyaratan aspal keras penetrasi 60/70 dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C ; 100 gr ; 5 detik ; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-79
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48-58
3	Titik Nyala, °C	SNI 04-2433-1991	min.200
4	Daktilitas °C, cm	SNI 06-2432-1991	min.100
5	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	min.1
6	Kelarutan dalam Trichlor Etylen, % berat	RSNI M-04-2004	min. 99
7	Penurunan Berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	min.0,8
8	Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	min.54
9	Daktilitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2432-1991	min.50
10	Uji noda Aspal - Standar naptha - Naptha xylene - Hephthane xylane	SNI 03-6885-2002	Negatif

Sumber: Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas, 2007

Aspal diklasifikasikan dalam tingkatan atau kelas berdasarkan dua sistem, yaitu viskositas dan uji penetrasi. Dalam sistem tersebut aspal dikelompokkan dalam tingkatan atau kelas yang berbeda pula. Viskositas adalah ukuran kekentalan fluida yang bisa menyatakan kecil besarnya suatu gesekan dalam fluida. Maka, apabila makin besar viskositas dalam fluida maka akan semakin sulit untuk mengalir dan juga akan semakin sulit benda dapat bergerak di dalam fluida.

Sedangkan viskoelastisitas aspal adalah material yang sifatnya berubah tergantung pada waktu pembebanan dan temperatur. Sifat viskoelastis aspal penting untuk diketahui agar dapat menentukan temperatur yang tepat untuk melakukan pencampuran aspal dengan agregat sehingga campuran aspal menyelimuti semua permukaan agregat secara merata dan aspal dapat masuk ke dalam pori-pori agregat membentuk ikatan kohesi yang kuat. Pemadatan dilakukan ketika temperatur aspal yang rendah dengan kondisi yang masih sangat kental maka akan terjadi pergeseran campuran beraspal dikarenakan campuran tersebut belum cukup kaku untuk memikul beban dari alat pemadat.

Tabel 2.2 Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal untuk Pencampuran dan Pemadatan

No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal	Perkiraan Temperatur Aspal	
			Tipe I	Tipe II B
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155 ±1	165 ±1
2	Pemadatan benda uji Marshall	0,4	145 ±1	155 ±1
3	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2 – 0,5	145 – 155	155 – 165
4	Menuangkan campuran aspal dari alat pencampur ke dalam truk	± 0,5	135 – 150	145 – 160
5	Pemasokan ke Alat Penghampar	0,5 – 1,0	130 – 150	140 – 160
6	Pemadatan Awal (roda baja)	1 – 2	125 – 145	135 – 155
7	Pemadatan antara (roda karet)	2 – 20	100 – 125	110 – 135
8	Pemadatan akhir (roda baja)	< 20	>95	> 195

Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2010

Klasifikasi aspal juga dapat ditentukan dengan nilai penetrasi berdasarkan uji penetrasi. Pada uji ini, sebuah jarum standar dengan beban 100 gram (termasuk berat jarum) ditusukkan ke atas permukaan aspal, panjang jarum yang masuk ke dalam contoh aspal dalam waktu lima detik diukur dalam satuan persepuluh milimeter (0,1 mm) dan dinyatakan sebagai nilai penetrasi aspal. Semakin kecil nilai penetrasi aspal, semakin keras aspal tersebut.

Tabel 2.3 Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi

No	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Persyaratan				
				Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
1	Penetrasi 25°C 100gr, 5dtk	0,01	SNI 06-2456-1991	40-59	60-99	80-99	120-150	200-300
2	Titik Lembek	Mm	SNI 06-2434-1990	51-63	50-58	46-54	129-150	200-300
3	Titik Nyala	°C	SNI 06-2456-1991	>200	>225	>225	>218	>117

Tabel 2.3 Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi (*lanjutan*)

No	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
4	Daktilitas 25°C	°C	SNI 06-2432-1992	>100	>100	>100	>100	-
5	Berat Jenis	cm	SNI 06-2488-1997	>1	>1	>1	-	-
6	Kelarutan Dalam Trichol Etylen	gr/cm ²	SNI 06-2438-1993	min 99	min 99	min 99	min 99	min 99
7	Penurunan Berat (dgn TFOT)	%	SNI 06-2441-1994	min 0,8	min 0,1	min 0,1	min 1,3	min 1,3
8	Daktilitas setelah Penurunan Berat	cm	SNI 06-2432-1996	-	min 50	min 75	min 100	min 100

Sumber: Bina Marga

2.3. Aspal Porus

Aspal porus merupakan campuran beraspal dengan kadar pasir rendah yang dimaksudkan untuk mendapatkan kadar rongga tinggi dan merupakan jenis perkerasan jalan yang didesain untuk menyalurkan air dipermukaan jalan ke lapisan bawah sehingga tidak terjadi genangan di permukaan jalan secara vertikal maupun horisontal, serta didesain untuk meningkatkan koefisien gesek pada permukaan perkerasan. Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar untuk mendapatkan pori yang lebih tinggi. Penggunaan campuran Aspal Porus ini memiliki berbagai manfaat dari segi bidang lingkungan, ekonomi maupun struktural.

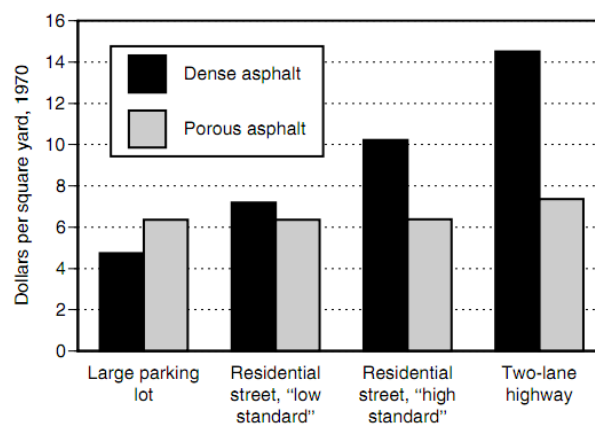
Penggunaan Aspal Porus juga dapat mengurangi bahaya dari polutan untuk dapat masuk ke dalam tanah. Polutan tersebut dapat berasal dari hidrokarbon dari bahan-bahan aspal sendiri ataupun dari oli mobil. Tabel 2.4 di bawah ini menunjukkan hasil penelitian tentang pengurangan polutan akibat penggunaan Aspal Porus:

Tabel 2.4 Pengurangan Polutan pada Aspal Porus

Lokasi Studi	<i>Total Suspended Solids (TSS)</i>	<i>Total Phosphors (TP)</i>	<i>Total Nitrogen (TN)</i>
Prince William, VA	82	65	80
Rockville, D	95	65	85

Sumber: *Environmental Protection Agency (EPA)*

Dari bidang ekonomi penggunaan aspal porus lebih irit dari pada ketika membangun dengan perkerasan konvensional. Sehingga dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut:

**Gambar 2.4** Keuntungan Aspal Porus Dibanding Perkerasan Konvensional

Sumber: *Comparative construction costs of Porous Asphalt and dense asphalt pavement (data from Field et al.,1982,and Thelen et al.,1972,pp. 7,116 and 118)*

2.3.1. Kelebihan dan Kekurangan

Dalam perkembangan teknologi dunia perkerasan yang dalam hal ini aspal porus, tentu memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan aspal porus, yaitu:

- a. Kelebihan penggunaan Aspal Porus:
 - Meningkatkan keselamatan dalam berkendara di jalan bagi pengendara.
 - Mengurangi efek silau yang ditimbulkan di malam hari.
 - Mengurangi kebisingan yang terjadi.
 - Mengurangi efek *aquaplaning* ketika melewati permukaan aspal yang basah.
 - Mempunyai *skid resistance* yang baik.
- b. Kekurangan penggunaan Aspal Porus:
 - Meningkatkan resiko *pumping* oleh lalu lintas.

- Kemungkinan bahaya desintegrasi perkerasan karena kurangnya *interlocking*.
- Stabilitas aspal yang rendah.
- Peluang terjadinya pelapukan tinggi.

2.3.2. Gradasi Aspal Porus

Aspal Porus merupakan campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Campuran ini menggunakan gradasi terbuka (*open-graded*) yang didominasi campurannya oleh agregat kasar. Sifat-sifat Aspal Porus sendiri telah ditentukan oleh gradasi agregat, di samping juga bergantung dari sifat-sifat bahan pembentuk aspal itu sendiri.

Awal mula penggunaan Aspal Porus *pavement* ini dimulai pada awal tahun 1970 di *The Franklin Institute*. Institut ini memulai percobaan mereka dengan cara mengidentifikasi gradasi agregat yang dipakai di jalan raya sekitar Britain, California. Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan hasil penelitian tentang gradasi agregat yang dihasilkan oleh *The Franklin Institute* sebagai berikut:

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Aspal Porus

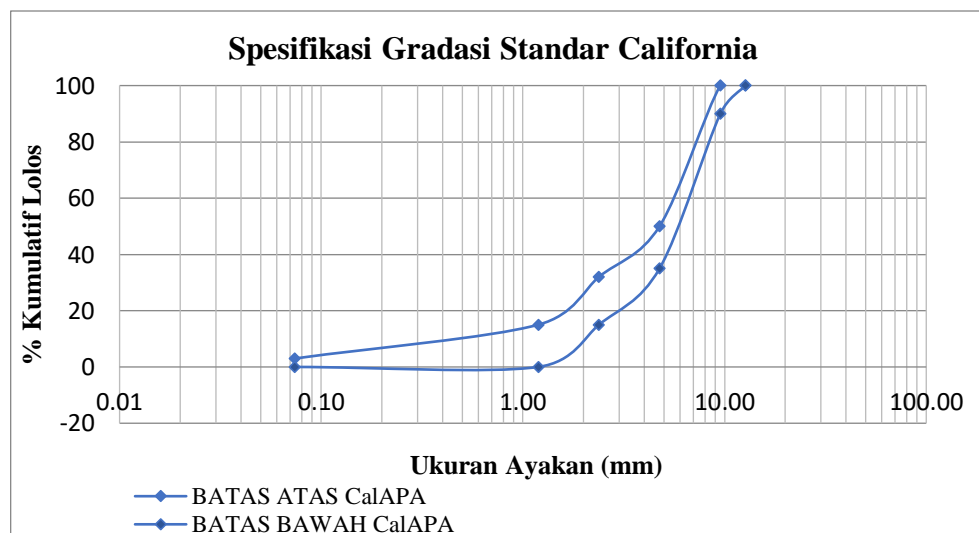
Sieve Size	Percent (By Weight) Passing		
	As Tasted by Franklin Institute	California Specification	Specified by Thelen and Howe
1/2 inch	100	100	100
3/8 inch	97	90-100	95
No.4	34	35-50	35
No.8	16	15-32	15
No.16	13	0-15	10
No.200	2	0-3	2

Sumber: *Data from Thelen et al., 1972, pp.4 and 41 ; and Thelen and Howe ,1978,p.64.*

Tabel 2.6 Gradasi Aspal Porus Standar California

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Batas Atas	Batas Bawah
19,000	100	100
12,700	100	100
9,530	100	90
6,350	50	35
2,380	32	15
1,190	15	0
0,595	-	-
0,279	-	-
0,149	-	-
0,074	3	0
Total	100	100

Sumber: *California Department of Transportation, 2007*

**Gambar 2.5** Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar California

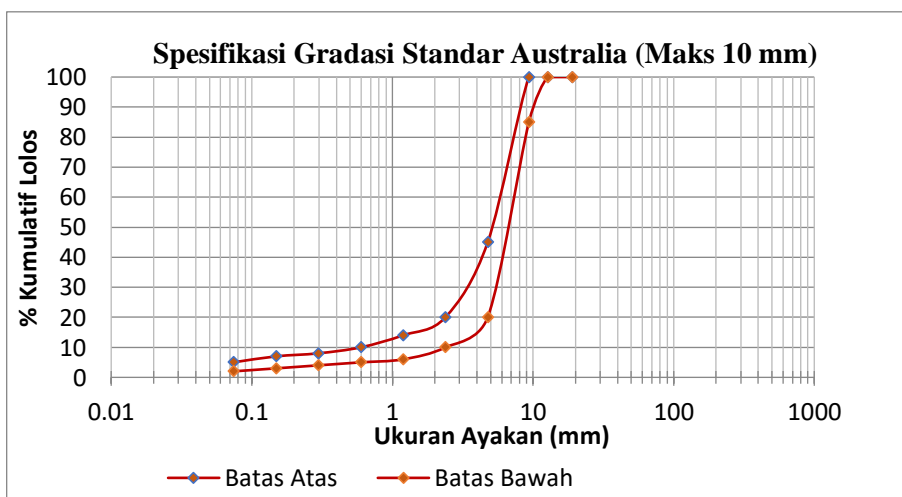
Sumber: *California Department of Transportation, 2007*

University of Delaware di Newmark pada tahun 1973 melanjutkan penelitian untuk menyempurnakan tentang gradasi dan bentuk struktural *Aspal Porus Pavement* oleh *The Franklin Institute*.

Tabel 2.7 Gradasi Aspal Porus Standar Australia

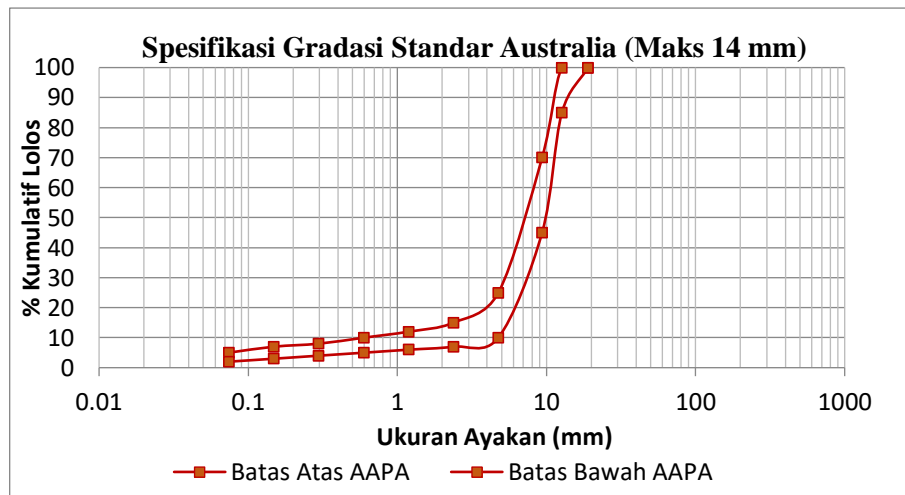
Ukuran (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks. 14 mm
19,000	100	100
12,700	100	85 – 100
9,530	85 – 100	45 – 70
4,760	20 – 45	10 – 25
2,380	10 – 20	7 – 15
1,190	6 – 14	6 – 12
0,585	5 – 10	5 – 10
0,279	4 – 8	4 – 8
0,149	3 – 7	3 – 7
0,074	2 – 5	2 – 5
Total	100	100
Kadar Aspal	5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*



Gambar 2.6 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maksimal 10 mm

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*



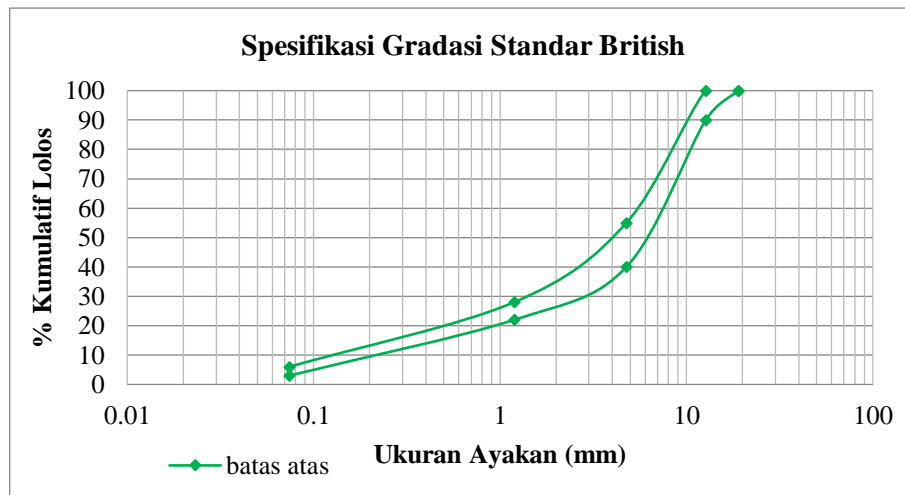
Gambar 2.7 Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maksimal 14 mm

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*

Tabel 2.8 Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British

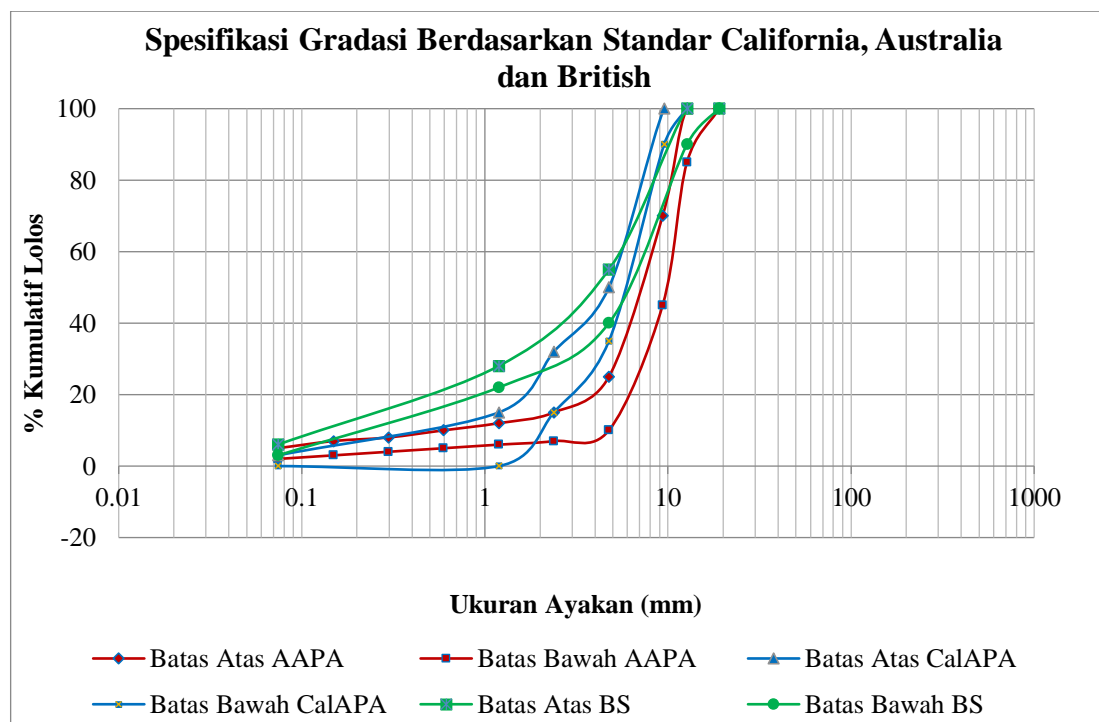
Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Batas Atas	Batas Bawah
19,000	100	100
12,700	100	100
9,530	100	90
6,350	55	40
2,380	28	22
0,074	6	3

Sumber: *Takahasi, 1999*



Gambar 2.8 Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar British

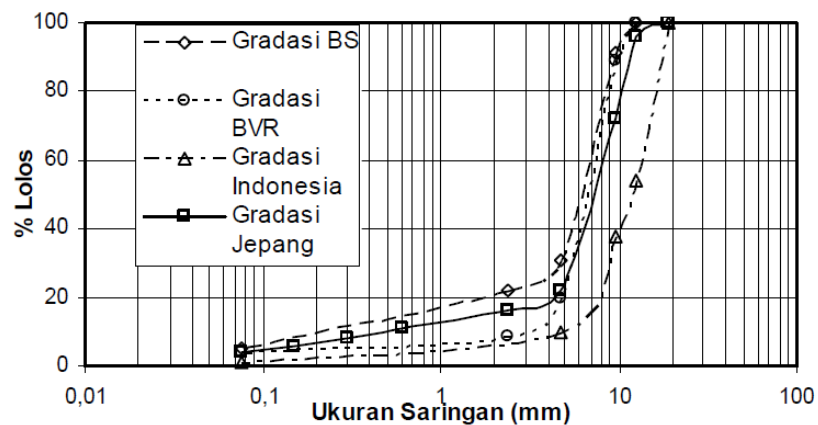
Sumber: Takahasi, 1999



Gambar 2.9 Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Berdasarkan Standar California, Australia dan British

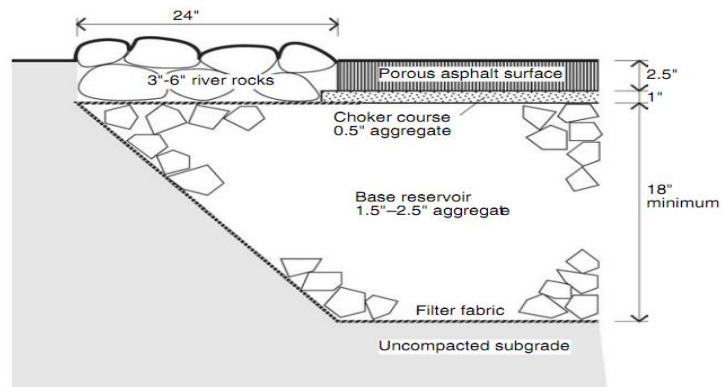
Tabel 2.9 Tabel Gradasi Aspal Porus

Saringan (mm)	% Lolos			
	BS	BVR	INA	JPN
19,5	100	100	100	100
12,5	100	100	54	96
9,5	91		38	72
4,75	31	20	10	22
2,36	22	9	-	16
0,6	-	-	-	11
0,3	-	-	-	8
0,15	-	-	-	6
0,075	5	4	1	4

**Gambar 2.10** Gradasi Aspal Porus

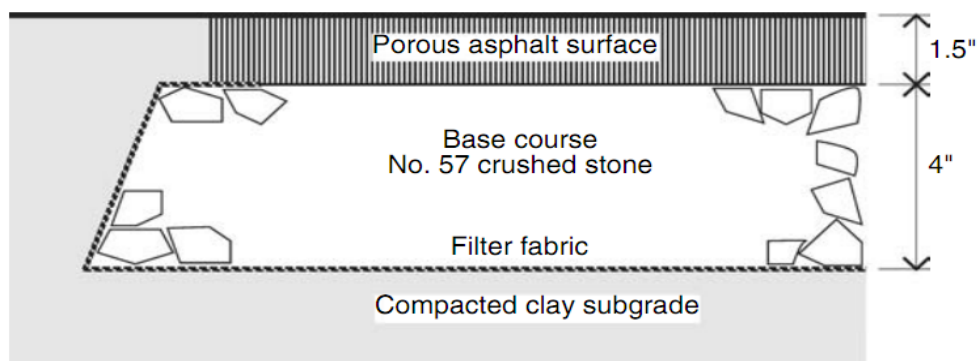
2.3.3. Pemakaian Aspal Porus

Penggunaan Aspal Porus pada waktu ini bermanfaat dan banyak digunakan di negara-negara maju. Manfaat dari Aspal Porus yaitu untuk mencegah air tergenang dalam waktu lama pada permukaan jalan. Dikarenakan air yang terlalu lama menggenang akan mengurangi ikatan antar agregat pada perkerasan. Berikut ini adalah gambar Aspal Porus di berbagai negara:



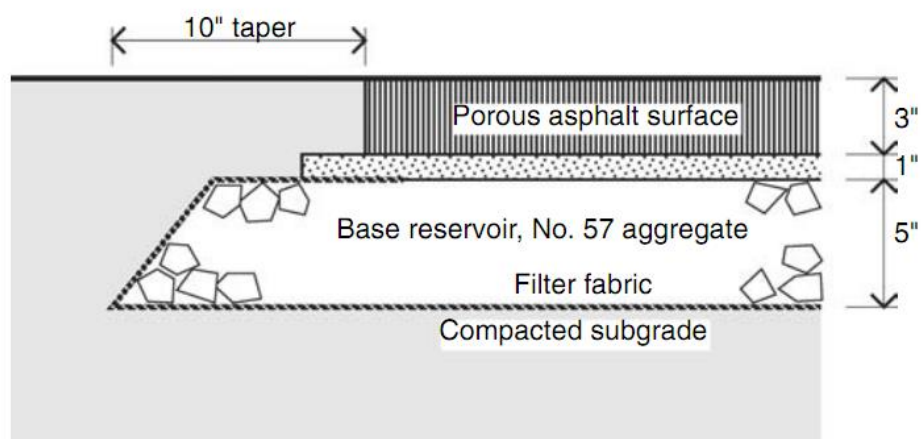
Gambar 2.11 Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Hackessin, Delaware

Sumber: Brown, 1996 and Cahill, 1993



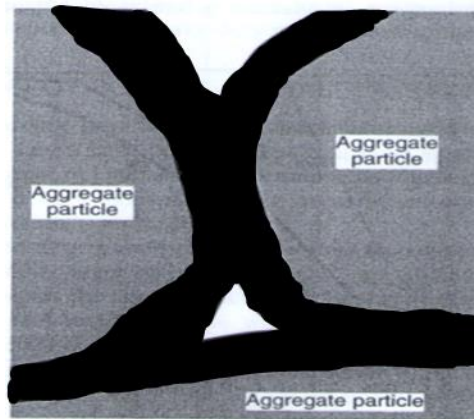
Gambar 2.12 Konstruksi Aspal Porus Pada Jalan Perumahan di Macon, Georgia

Sumber: Specifications by Adele George



Gambar 2.13 Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Roswell, Georgia

Sumber: Specifications by Cerulca



Gambar 2.14 Konsep Ikatan Antar Butiran Agregat Pada Campuran Aspal, Georgia

Sumber: Department of Transportation

2.4. Agregat

Agregat merupakan sekumpulan material yang berupa butir-butir batu pecah, pasir, gravel, atau mineral-mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan. Fungsi dari agregat dalam campuran aspal merupakan sebagai susunan yang memberikan stabilitas pada campuran apabila dipadatkan dengan cara dan alat yang benar.

Agregat adalah material yang sifatnya keras dan anorganik. Agregat yang merupakan komponen utama atau susunan dari lapisan perkerasan jalan mengandung 90-95% agregat yang berdasarkan persentase berat atau 70% - 75% agregat berdasarkan persentase volume (Silvia, Sukirman, 2003, Beton Aspal Campuran Panas).

Pemilihan jenis agregat disesuaikan untuk kebutuhan konstruksi perkerasan yang dipengaruhi oleh kekuatan, gradasi, tekstur permukaan, bentuk butir, kelekatan pada aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Daya tahan atau stabilitas dipengaruhi oleh jenis dan campuran agregat.

2.4.1. Jenis – Jenis Agregat

Jenis-jenis agregat dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan dari sumber cara pengolahan agregat tersebut, antara lain:

1. Agregat Alam

Agregat alam merupakan agregat yang didapatkan dari alam. Terbentuk dari proses erosi dan degradasi. Agregat yang terbentuk dari proses erosi dari aliran sungai berbentuk bulat dan permukaan yang licin, untuk agregat yang degradasi yang berasal dari bukit-bukit berbentuk sudut-sudut (kubus) dengan permukaan yang kasar.

Pasir dan batu kerikil merupakan agregat alam yang digunakan pada campuran perkerasan jalan. Kerikil merupakan agregat dengan ukuran partikel lebih besar dari 6,35 mm, sedangkan pasir memiliki ukuran antara 6,35 - 0,075 mm, untuk agregat yang berukuran lebih kecil dari 0,075 didefinisikan sebagai material pengisi (*filler*).

2. Agregat Buatan

Agregat buatan merupakan agregat yang berasal dari hasil proses kimia dan fisika yang akan membentuk mineral baru menyamai agregat. Agregat buatan dapat diproses dengan sedemikian rupa dengan agregat seperti agregat kasar, halus ataupun pengisi (*filler*).

2.4.2. Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki ukuran yang paling besar diantara agregat lainnya. Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No. 8), menurut saringan ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Dimana campuran aspal panas memiliki ukuran yang bisa digunakan di semua jenis *hotmix*. Fraksi agregat untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran normal yang juga cukup kuat, awet, bersih dan bebas dari bahan-bahan lain yang mengganggu campuran aspal.

Komposisi agregat kasar yang digunakan di Indonesia untuk campuran aspal panas dapat dilihat pada Tabel 2.10 sebagai berikut :

Tabel 2.10 Komposisi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Berat Lolos (%)
20	100
12,7	30-100
9,5	0-55
4,75	0-10
0,075	0-1

Sumber: Spesifikasi Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga

Ketentuan-ketentuan mengenai agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.11 sebagai berikut:

Tabel 2.11 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks 12 %
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-1991	Min 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min 95 %
Angularitas	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	ASTM D-4791	Maks 10 %

Catatan:

(*) 95/90 menunjukkan 95 % agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90 % agregat kasar memiliki muka bidang pecah dua atau lebih.

(**) Pengujian dengan cara membandingkan lengan alat uji terhadap poros 1:5.

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

2.4.3. Agregat Halus

Agregat yang secara umum memiliki ukuran antara 0,234 – 0,0075 mm. Untuk agregat halus dalam campuran aspal panas juga mempunyai spesifikasi umum yang digunakan untuk *hotmix*. Agregat halus terdiri dari bahan-bahan dengan bidang-bidang kasar, sudut-sudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki.

Agregat halus terdiri dari agregat kasar dan agregat halus tetapi yang dominan pada agregat halus. Menurut Bina Marga komposisi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.12 dan dengan ketentuan pada Tabel 2.13 sebagai berikut :

Tabel 2.12 Komposisi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Berat Lolos (%)
9,5	100
4,75	90-100
2,36	80-100
600 micron	25-100
75 micron	3-11

Sumber: Spesifikasi Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga

Tabel 2.13 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standart	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1991	Min. 50 %
Material Lolos Saringan No 200	SNI 03-4428-1992	Maks. 8 %
Angularitas	SNI 03-6877-1993	Min. 45 %

Sumber: Spesifikasi Umum Desember, 2006

Spesifikasi AASHTO juga dapat digunakan untuk referensi campuran aspal panas di Indonesia. Berikut Tabel 2.14 Standar Internasional AASHTO (AASHTO 29-70) mengenai spesifikasi agregat halus sebagai berikut :

Tabel 2.14 Komposisi Agregat Halus (AASHTO 29-70)

No. Saringan	I	II	III
3/8"	100		100
4	95-100	100	80-100
8	70-100	95-100	65-100
16	40-80	85-100	40-80
30	20-65	65-90	20-65
50	7-40	30-60	7-40
100	2-20	5-25	2-20
200	0-10	0-5	0-10

Sumber: AASHTO 29-70

2.4.4. Filler

Filler merupakan bagian pengisi rongga dalam campuran (*void in mix*) berbutir halus lolos saringan nomor 30 di mana persentase lolos saringan nomor 200 minimum 65% (SKBI 2.4.26.1987). Debu batu kapur, debu dolomits atau semen Portland dapat digolongkan sebagai filler. Fungsi filler dalam campuran untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara. Filler hendaknya kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Gradasi filler telah ditentukan pada Tabel 2.12 sebagai berikut :

Tabel 2.15 Ukuran Saringan dan Persentase Berat Lolosnya

Ukuran Saringan	Persentase Berat Lolos
No. 30 (0.590 mm)	100
No. 50 (0.279 mm)	95-100
No. 100 (0.149 mm)	90-100
No. 200 (0.075 mm)	65-100

Sumber : SKBI 2.4.26.1987

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Hari Suhartanto, 1992) diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan jenis filler akan menghasilkan nilai stabilitas campuran aspal beton yang berbeda. Diantaranya yaitu semen Portland, semen merah, abu batu dan kapur didapat nilai stabilitas yang paling tinggi dari filler abu batu tertinggi yaitu 458,0312 kg.

2.5. Serabut Kelapa

Buah kelapa terdiri dari *epicarp* yaitu bagian luar yang permukaannya licin, agak keras dan tebalnya kurang lebih 0,7 mm, *mesocarp* yaitu bagian tengah yang disebut sabut, bagian ini terdiri dari serat kertas yang tebalnya 3-5 cm, *endocarp* yaitu tempurung tebalnya 3-6 mm. Sabut merupakan bagian tengah (*mesocarp*) epicarp dan endocarp. Sabut kelapa merupakan bagian terluar buah kelapa. Ketebalan sabut kelapa berkisar 5-6 cm yang terdiri atas lapisan terluar (*exocarpium*) dan lapisan dalam (*endocarpium*). Endocarpium mengandung serat halus sebagai bahan pembuat tali, karpet, sikat, keset, isolator panas dan suara, filter, bahan pengisi jok kursi/mobil dan papan hardboard. Satu butir buah kelapa menghasilkan 0,4 kg sabut yang mengandung 30% serat.

Komposisi kimia sabut kelapa terdiri atas selulosa, lignin, pyroligneous acid, gas, arang, ter, tannin, dan potasium. Mutu serat ditentukan dari warna dan ketebalan. Mengandung unsur kayu seperti lignin, suberin, kutin, tannin dan zat lilin. Dari sifat mekaniknya : Kekuatan tarik dari serat kasar dan halus berbeda. Mudah rapuh dan hancur.

2.5.1. Komposisi Serat Sabut Kelapa

Hasil uji komposisi serat sabut kelapa berdasarkan SNI yang dilakukan Sarana Riset dan Standarisasi dapat dilihat pada Tabel 2.16 berikut :

Tabel 2.16 Komposisi Serat Sabut Kelapa

Parameter	Hasil Uji Komposisi (%)	Metode Uji
Kadar Abu	2.02	SNI 14-1031-1989
Kadar Lignin (Metode Klakson)	31.48	SNI 14-0492-1990
Kadar Sari	3.41	SNI 14-1032-1989
Kadar Alfa Selulosa	32.64	SNI 14-0444-1989
Kadar Total Selulosa	55.34	Metoda Internal BBPK
Kadar Pentosan sebagai Hemiselulosa	22.70	SNI 01-1561-1989
Kelarutan dalam NaOH 1 %	20.48	SNI 19-1938-1990

Sumber: Sunarjo, 2008, (*Laboratorium Balai Besar Pulp dan Kertas*)

Uji komposisi sifat kimia untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat dalam serat sabut kelapa. Uji kadar abu untuk mengetahui kadar abu yang terdapat dalam serat sabut kelapa. Uji lignin untuk mengetahui jumlah lignin dalam serat sabut kelapa. Lignin adalah bagian yang terdapat dalam lamella tengah dan dinding sel yang berfungsi sebagai perekat antar sel, dan merupakan senyawa aromatic yang berbentuk amorf. Suatu komposit akan mempunyai sifat fisik atau kekuatan yang baik apabila mengandung sedikit lignin, karena lignin bersifat kaku dan rapuh.

2.6. Campuran Aspal Panas (Hot Mix Asphalt)

Campuran aspal panas adalah suatu campuran perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan tertentu dan untuk mengeringkan agregat dan mencairkan aspal agar dapat dengan mudah dicampur dengan baik maka sebelum pencampuran bahan tersebut harus dipanaskan.

Indonesia adalah suatu negara yang beriklim tropis dengan temperatur permukaan jalan yang cukup tinggi dan makin meningkatnya lalu lintas yang ada. Di Indonesia terdapat beberapa jenis campuran aspal panas yang dibedakan menurut lalu lintas yang melewatinya, yaitu:

1. Latasir (HRSS) Kelas A dan B
2. HRS
3. Laston (AC)
4. Asphalt Treated Base (ATB)
5. Split Mastik Asphalt

Pada umumnya Hotmix digunakan sebagai konstruksi perkerasan lentur, yang mana mempunyai syarat-syarat yang harus dipenuhi dipandang dari segi kekuatan dan segi kenyamanan, (*The Asphalt Institute, 1985*), kondisi yang harus dipenuhi sebagai berikut:

a. Stabilitas

Kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*). Untuk mendapat stabilitas yang tinggi diperlukan agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Tetapi akibat VMA yang kecil, pemakaian aspal yang banyak akan menyebabkan terjadinya bleeding karena aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Agar dapat mendukung fungsi tersebut diatas adalah sebagai berikut:

- Agregat harus bergradasi rapat / keras / permukaan kasar (batu pecah).
- Kadar aspal sedang.
- Aspal yang digunakan aspal keras dengan penetrasi kecil.

b. Durabilitas atau ketahanan

Ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Untuk mencapai ketahanan yang tinggi diperlukan rongga dalam campuran (VIM) yang kecil, sebab dengan demikian udara tidak (atau sedikit) masuk kedalam campuran yang dapat menyebabkan menjadi rapuh. Selain itu diperlukan juga VMA yang besar, sehingga aspal dapat menyelimuti agregat lebih baik.

c. Fleksibilitas atau kelenturan

Kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*). Fungsinya yaitu untuk mencegah air masuk karena jika jalan semakin kaku, kemungkinan timbulnya retak semakin tinggi, menahan/melawan tegangan/regangan tarik. Jalan yang terlalu *flexible* berakibat perubahan bentuk (*rutting* alur) sangat tinggi. Untuk mencapai kelenturan yang tinggi diperlukan VMA yang besar, VIM yang kecil, dan pemakaian aspal dengan penetrasi tinggi.

d. Kekesatan (*skid resistance*)

Kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan yang cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik di waktu jalan basah maupun kering. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding, dan penggunaan agregat kasar yang cukup.

e. Ketahanan leleh (*fatigue resistance*)

Kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

f. *Impermeable* / kedap air

Sifat *impermeable* pada campuran aspal berfungsi untuk mencegah masuknya air/udara karena jika air masuk maka akan mempercepat proses oksidasi sehingga proses pelapukan akan berlangsung cepat. Agar dapat mendukung fungsi tersebut diatas maka dibutuhkan sebagai berikut:

- Gradasi agregat rapat.
 - Kadar aspal besar.
 - Rongga udara (*air void*) kecil.
- g. Workabilitas

Kemudahan campuran aspal untuk diolah. Faktor yang mempengaruhi workabilitas antara lain gradasi agregat, dimana agregat yang bergradasi baik lebih mudah dikerjakan, dan kandungan filler, dimana filler yang banyak akan mempersulit pelaksanaan. Campuran aspal panas dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu: Campuran aspal panas dengan agregat bergradasi senjang (*Gap Graded Aggregate Mix*) dan agregat bergradasi menerus (*Continuous Graded Aggregate Mix*).

Gap Graded Aggregate Mix (Campuran dengan Agregat Gradasi Senjang) terdiri dari campuran pasir halus, bahan pengisi (*filler*), aspal ditambah dengan proporsi agregat kasar yang bervariasi. Stabilitas diperoleh dari tingkat kekuatan saling mengikat antara butiran pasir yang diikat oleh aspal.

Continuous Graded Aggregate Mix (Campuran dengan Agregat Gradasi Menerus). Susunan butiran agregat dari ukuran yang terbesar sampai terhalus agar rongga udara terkontrol dengan baik. Jumlah aspal yang ditambahkan tergantung dari rongga udara yang dikehendaki sesuai dengan kondisi lalu lintas dan iklim yang ada.

Pengujian untuk campuran aspal panas (*Hot mix*) dengan *Asphalt Marshall*, bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Ketahanan stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis (dalam Kg), yaitu keadaan dimana terjadi perubahan bentuk campuran aspal akibat beban sampai batas runtuh (dalam mm).

2.7. Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas (AASHTO) adalah sebagai berikut:

1. Berat Jenis Bulk dan *Apparent* Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian

material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut:

- a. Berat jenis kering (*bulk spesific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtotagregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

G_{sbtot} agregat : Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

$G_{sb1}, G_{sb2}..G_{sb}$: Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1, 2, 3..n, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3, \dots : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

- b. Berat jenis semu (*apparent spesific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtotagregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sd1}} + \frac{P_2}{G_{sd2}} + \frac{P_3}{G_{sd3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sdn}}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

G_{satot} agregat : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

$G_{sa1}, G_{sa2}...G_{san}$: Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1, 2, 3..n, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3, \dots : Prosentase berat dari masing-masing agregat.

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm} P_b}{P_{mm} G_b}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

G_{se} : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

P_{mm} : Persen berat total campuran (=100)

P_b : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Ps : Proporsi agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

Gb : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} \text{ ----- (4)}$$

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis kering agregat / *bulk spesific gravity*, (gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat / *apparent spesific gravity*, (gr/cc)

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASTO T 209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \text{ ----- (5)}$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

4. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (G_{mb}) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \quad \text{-----} \quad (6)$$

Keterangan:

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

V_{bulk} : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)

W_a : Berat di udara, (gr)

5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (P_{ba}) adalah sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \quad \text{-----} \quad (7)$$

Keterangan:

P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

G_{se} : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)

G_b : Berat jenis aspal, (gr/cc)

6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad \text{-----} \quad (8)$$

Keterangan:

P_{be} : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

P_b : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

7. Rongga di antara mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan

VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut:

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times F_s}{G_{sb}} \quad \text{----- (9)}$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100 \right) \quad \text{----- (10)}$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

P_b : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

8. Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 \times \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad \text{----- (11)}$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

9. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFB*)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rongga terisi aspal dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VFB = \left(\frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \right) \text{ ----- (12)}$$

Keterangan:

VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%).

10. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

11. *Flow*

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

12. Hasil Bagi *Marshall*

Hasil bagi *Marshall*/*Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat *Marshall* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MQ}{Mf} \text{ ----- (13)}$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient, (kg/mm)*

MS : *Marshall Stabilit,y (kg)*

2.8. Multivariate Anova (Multivariasi Analysis of Variance)

Analysis of variance atau yang sering disingkat Anova adalah uji yang dapat digunakan untuk menganalisis perbedaan lebih dari 2 populasi kelompok yang independent. Teknik Anova ini dikembangkan oleh Ronald A. Fisher, dengan memanfaatkan distribusi F. Teknik ini sering dipakai untuk penelitian terutama pada rancangan penelitian yang memiliki implikasi pengambilan keputusan untuk menggunakan teknologi baru, prosedur - prosedur baru, ataupun kebijakan - kebijakan baru. Teknik Anova berasal dari penelitian pertanian (*agricultural research*). Tetapi di tahun - tahun terakhir ini telah dikembangkan sebagai alat yang ampuh didalam menganalisis masalah - masalah ilmiah lainnya seperti dalam masalah masalah bisnis dan ekonomi.

Pengujian ini disebut analisis varian karena didalam pembentukannya, kita menentukan apakah menerima atau menolak hipotesisnya mengenai rata - rata populasi yang berarti sama dengan kita menganalisis variasi (varian) didalam rata – rata cuplikan. Anova dibentuk atas dasar cuplikan - cuplikan acak sederhana yang ditarik secara bebas, sebuah dari setiap populasi. Pengujian itu beranggapan bahwa populasi-populasi disebarkan secara normal dan memiliki varian - varian yang sama.

Menurut Mendenhall, prosedur analisis varian bertujuan untuk menganalisis variasi dari sebuah response dan untuk menentukan bagian daripada variasi ini bagi setiap kelompok variabel bebas. Pemikiran dibelakang prosedur itu adalah bahwa variabel - variabel jawaban berbeda-beda semata - mata dikarenakan oleh suatu variasi di dalam kelompok variabel bebas yang diketahui. Hal itu berarti, tujuan daripada analisis varian adalah untuk menempatkan variabel - variabel bebas penting didalam suatu studi dan untuk menentukan

bagaimana mereka berinteraksi dan saling mempengaruhi (Mendenhall, & Reinmuth, 1982; hlm. 542).

Anova atau yang sering disebut juga uji-F pada prinsipnya yang dipakai dalam pengujian hipotesis ini adalah apabila mean dari kelompok bagian sangat berbeda maka variansi kombinasi dari seluruh kelompok jauh lebih besar dari variansi masing-masing kelompok bagian. Misalnya akan diuji sebanyak k sampel maka untuk menguji perbedaan *mean* antar sampel diperlukan perbandingan variansi kombinasi dari sebanyak k mean sampel oleh rata-rata variansi dari masing-masing sampel. Atau dengan kata lain, uji F merupakan perbandingan *Variance between means* oleh *variance within groups*. Asumsi pengujian ANOVA:

1. Populasi yang akan diuji berdistribusi normal.
2. Varians/ragam dan populasi yang diuji sama.
3. Sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain.

Tujuan dan pengujian Anova adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dan berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Adapun Anova yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu Multivariate Analysis of Variance karena terdapat 3 variabel bebas yang ditinjau.

2.9. Uji Duncan (DMRT)

Uji Duncan adalah uji lanjutan untuk mengetahui nilai tengah mana saja yang sama dan nilai tengah mana saja yang tidak sama ketika pengujian kehomogenan beberapa nilai tengah memberikan hasil menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif. Uji Duncan atau juga dikenal dengan istilah *Duncan Multile Range Test* (DMRT) memiliki nilai kritis yang tidak tunggal tetapi mengikuti urutan rata-rata yang dibandingkan. Nilai kritis uji Duncan dinyatakan dalam nilai least significant range (wilayah nyata terkecil) R_p yang dirumuskan sebagai berikut:

$$R_p = r_{\alpha, p, v} S_{\check{Y}}$$

$$S_{\check{Y}} = \sqrt{\frac{KTG}{r}}$$

Dimana:

R_p = Wilayah Nyata Terkecil Duncan

KTG = Kuadrat Tengah Galat

- r = Ulangan
 $r_{\alpha,p,v}$ = Nilai Nyata Duncan
 p = Jarak (2, 3, ..t)
 α = Taraf Nyata
 v = Derajat Bebas

2.10. Hasil Studi Terdahulu

Rancangan pada penelitian ini didasari oleh beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya. Dari Penelitian yang dilakukan oleh Avista C. dan Asti R., Nizar R. dan Rachmad R. B., Sofyan M. S. dan Renny A. serta Fenny P. dan Fita A., digunakan rancangan variasi kadar aspal yaitu 4%, 5%, 6% dan 7%. Sedangkan dari penelitian yang dilakukan oleh Roberto Colia digunakan variasi kadar serabut kelapa 0%, 0,5%, 1,25% dan 1,5%, dikatakan bahwa hasil pengujian stabilitas Marshall mengalami peningkatan dengan menggunakan kadar serabut kelapa 0,75%.

Berdasarkan studi yang pernah dilakukan sebelumnya oleh Sigit Pranoyo H. dengan mencampurkan aspal dengan serabut kelapa pada variasi kadar 0,5%, 0,75%, 1% dan 1,25% serta panjang 5 mm, 7,5 mm, 10 mm, dan 12,5 mm, dapat diketahui bahwa penambahan serabut kelapa 0,75% dengan panjang 5 mm meningkatkan nilai stabilitas Marshall 10-15%. Pada penelitian kali ini, dilakukan pencampuran serabut kelapa pada campuran aspal porus dengan variasi kadar serabut kelapa 0,5%, 0,75% dan 1% dengan panjang 2,5 mm, 5 mm dan 7,5 mm pada kadar aspal 4%, 5% dan 6%.

2.11. Hasil Uji Pendahuluan

Tabel 2.17 Hasil Studi Terdahulu

	Jenis Lapisan	Agregat	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
Avista Candra Dewi dan Asti Ratriadianti (2016) (Skripsi)	Aspal Porus		Serbuk Kayu Jati		Pen. 60/70	200	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7% Menggunakan KAO + Serbuk Kayu Jati 4%, 5%, 6% + Suhu Waterbath 45, 60, 75 	<ul style="list-style-type: none"> Nilai VIM, Stabilitas Marshall, flow dan MQ tidak mempengaruhi Suhu waterbath tidak mempengaruhi karakteristik Marshall 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%
Roberto Colia (2013) (Skripsi)	AC_WC		Serabut Kelapa		Pen. 60/70	30°C, 45°C, 60°C	<ul style="list-style-type: none"> Limbah sabut kelapa ditambahkan pada aspal pen 60/70 dengan persentase 0%; 0,75% dan 1,5% terhadap berat aspal. Dilakukan pengujian Wheel Tracking Machine pada suhu 30 C, 45 C, 60 C. 	<ul style="list-style-type: none"> Hasil pengujian Marshall dan Wheel Tracking Machine memperlihatkan terjadinya peningkatan stabilitas dan ketahanan terhadap nilai deformasi pada persentase limbah sabut kelapa 0,75%. 	<ul style="list-style-type: none"> Limbah sabut kelapa ditambahkan pada aspal pen 60/70 dengan persentase 0%; 0,5%; 0,75%; 1,25% dan 1,5% terhadap berat aspal.

	Jenis Lapisan	Agregat	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
Nizar Ramadhan dan Rachmad Reza B. (2014) (Skripsi)	Aspal Porus			Gilsonite	Pen 60/70		<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari berat agregat Variasi zat additive Gilsonite 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% Suhu Waterbath 55,60,65,70,70,75 	<ul style="list-style-type: none"> Nilai Stabilitas mengalami peningkatan Nilai flow mengalami penurunan ketika menggunakan Gilsonite Pada suhu waterbath 70 dan 75, karakteristik Marshall stabilitas dan flow menurun 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%
Sofyan M. Saleh, Renni Anggraini dan Hesty Aquina (2014) (Skripsi)	Aspal Porus		Styrofoam		Pen. 60/70		<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% sebelum distribusi styrofoam. Menggunakan KAO + variasi kadar styrofoam (5%, 7%, 9%) 	<ul style="list-style-type: none"> Diperoleh nilai KAO sebesar 5,76%. Nilai Stabilitas hanya 495,76 kg, dibawah spesifikasi yang disyaratkan Australian Asphalt pavement Association yaitu minimum 500 kg 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%

	Jenis Lapisan	Agregat	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
Fenny Putri dan Fita Ariyanti (2013) (Skripsi)	Aspal Porus			Wetfix-Be	Pen 60/70		<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari KAO. Menggunakan KAO + zat additive Wetfix-Be dengan kadar 0,2%, 0,3% 0,4% dan 0,5% 	<ul style="list-style-type: none"> Penambahan zat additive Wetfix-Be tidak begitu berpengaruh terhadap peningkatan nilai stabilitas perkerasan aspal porus. 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari KAO.
Sigit Pranoyo H (2017) (Jurnal)	AC-WC		Serabut Kelapa		Pen. 60/70		<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi panjang serabut kelapa 5mm, 7,5mm,10mm dan 12,5mm. Menggunakan variasi berat serabut kelapa 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% dan 1,5% dari berat aspal. 	<ul style="list-style-type: none"> Penambahan serabut kelapa 0,75% dengan panjang 5mm meningkatkan nilai stabilitas Marshall 10-15%. 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi panjang serabut kelapa 5mm, 7,5mm,10mm dan 12,5mm. Menggunakan variasi berat serabut kelapa 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% dan 1,5% dari berat aspal.

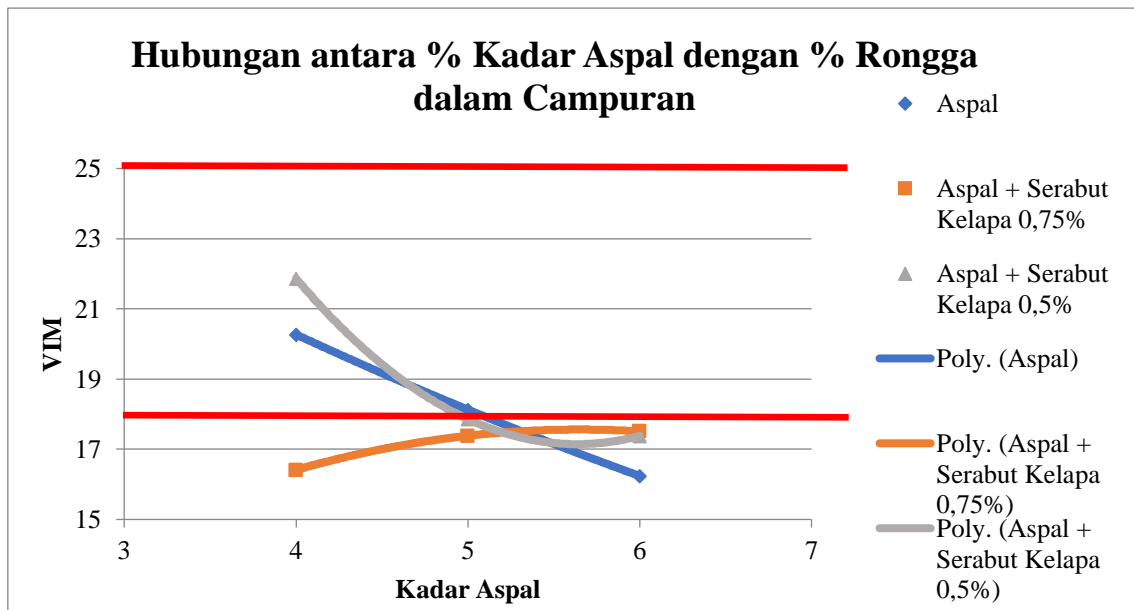
	Jenis Lapisan	Agregat	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
M. Fahrus Syaviiq (2018) (Skripsi)	Aspal Porus		Serabut Kelapa		Pen. 60/70		<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari KAO Menggunakan KAO + variasi kadar serabut kelapa (0,5%, 0,75%, 1%) dengan Panjang serabut kelapa tidak ditentukan. 		<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari KAO Menggunakan KAO + variasi kadar serabut kelapa (0,5%, 0,75%, 1%)

2.12. Hasil Uji Pendahuluan

Tabel 2.18 Hasil Uji Pendahuluan

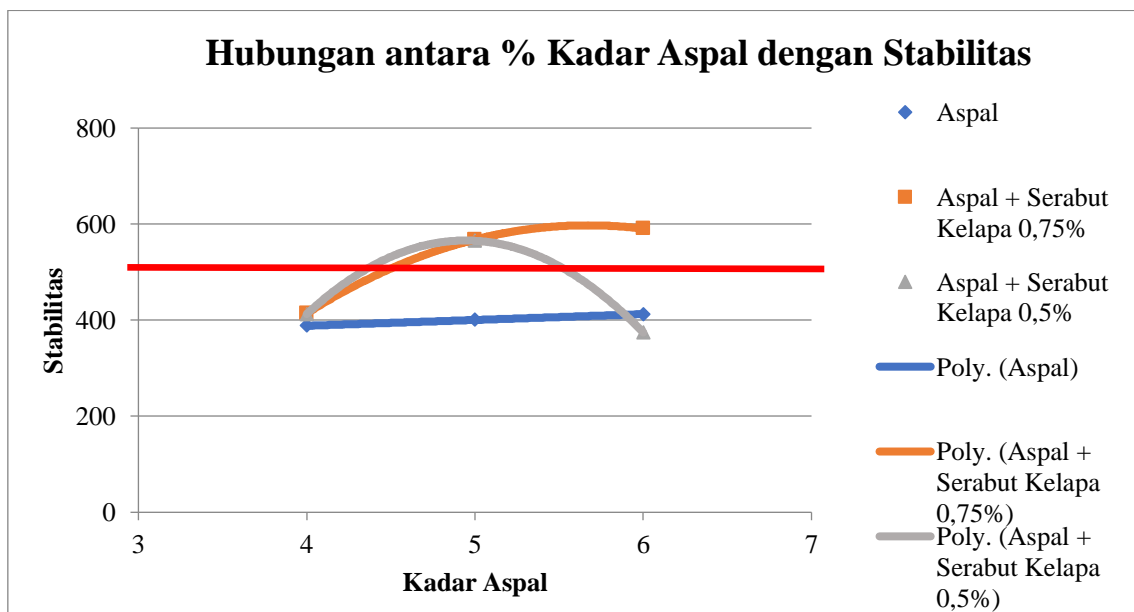
Kriteria Perencanaan	Nilai	Aspal Asli			Aspal + Serabut Kelapa 0,75%			Aspal + Serabut Kelapa 0,5%		
		4%	5%	6%	4%	5%	6%	4%	5%	6%
Uji Cantabro Loss (%)	Maks. 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %)	18 - 25	20.27	18.13	16.24	16.41	17.39	17.51	21.87	17.86	17.38
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 500	388.32	400.46	412.6	414.15	567.98	590.438	412.62	565.35	374.26
Kelelahan Marshall (mm)	2 - 6	3.24	2.36	3.02	2.6	2.15	2.9	2.25	2.65	2.95
Kekakuan Marshall (kg/mm)	Maks. 400	112.56	142.21	181.12	229.64	262.74	251.25	219	230.94	269.09
Jumlah Tumbukan Perbidang	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Sumber: *Australian Asphalt Pavement, 2004 dan uji pendahuluan*



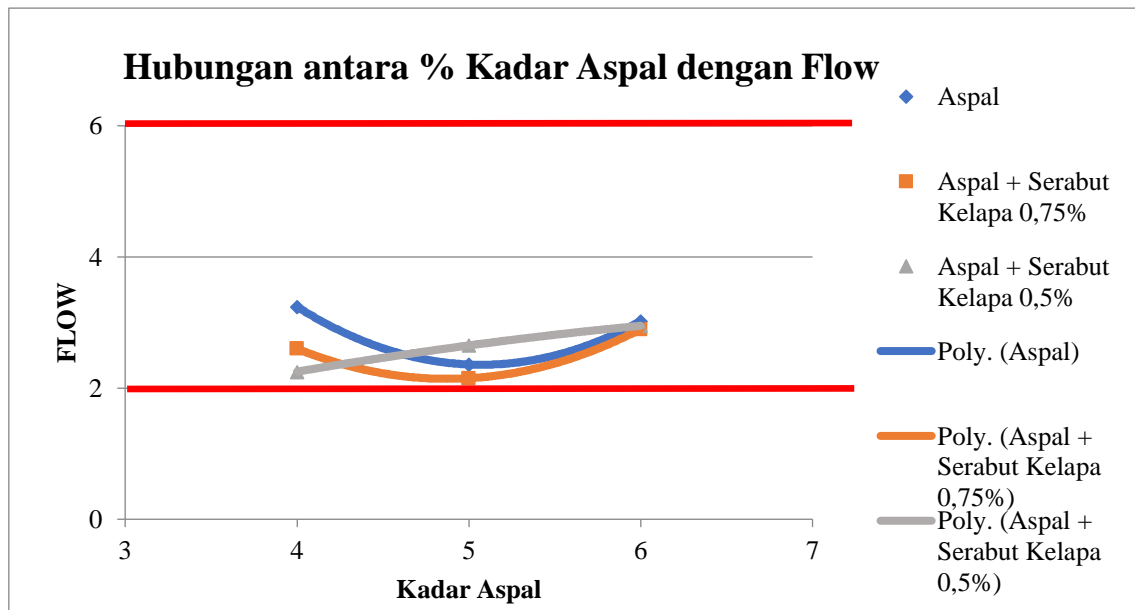
Gambar 2.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Sumber: Uji pendahuluan



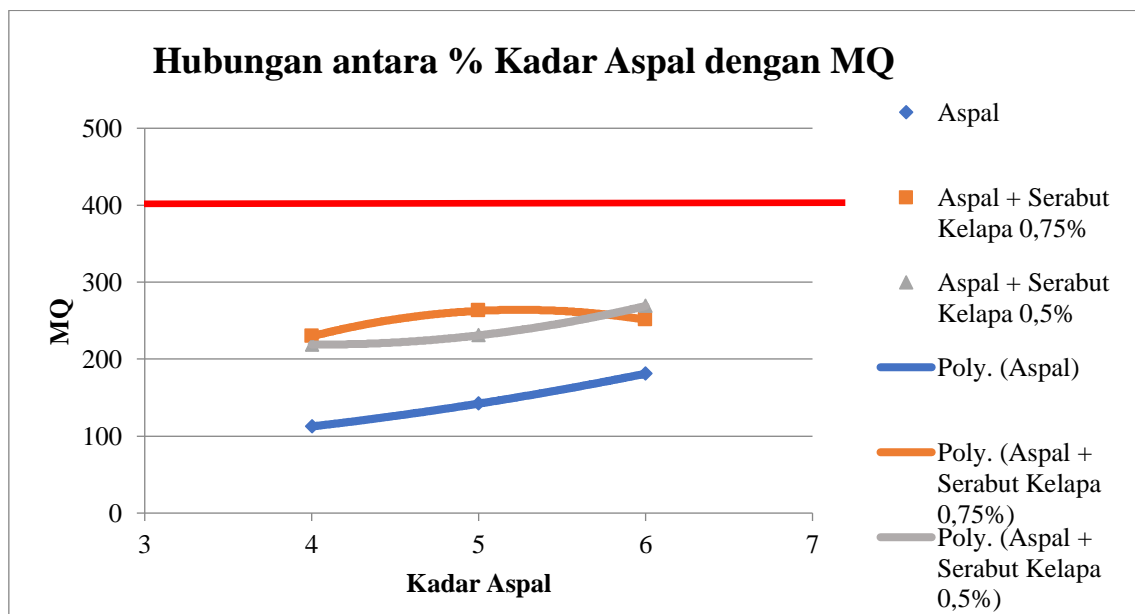
Gambar 2.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Uji Pendahuluan



Gambar 2.17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Sumber: Uji pendahuluan



Gambar 2.18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kekakuan Marshall (MQ)

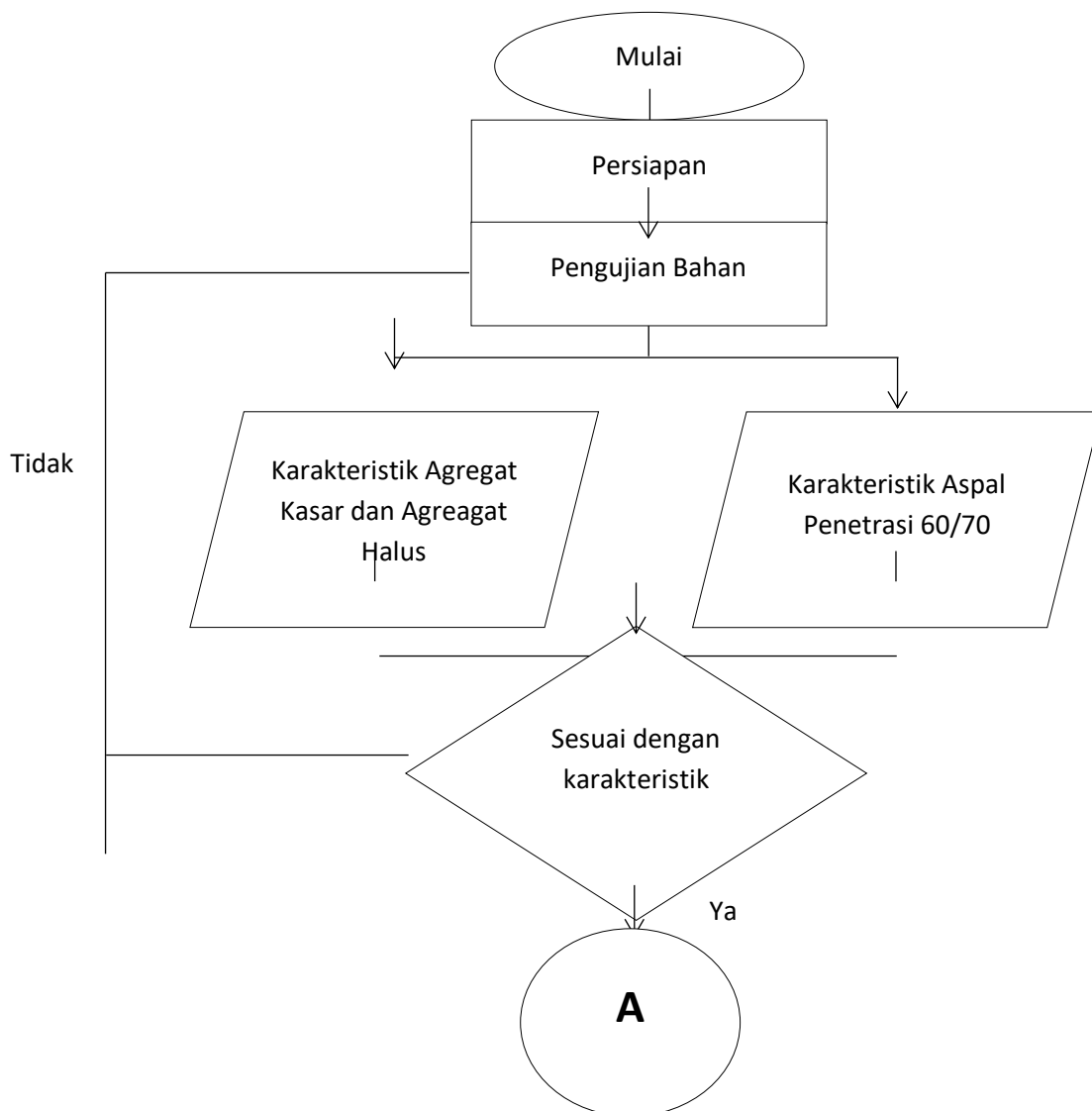
Sumber: Uji Pendahuluan

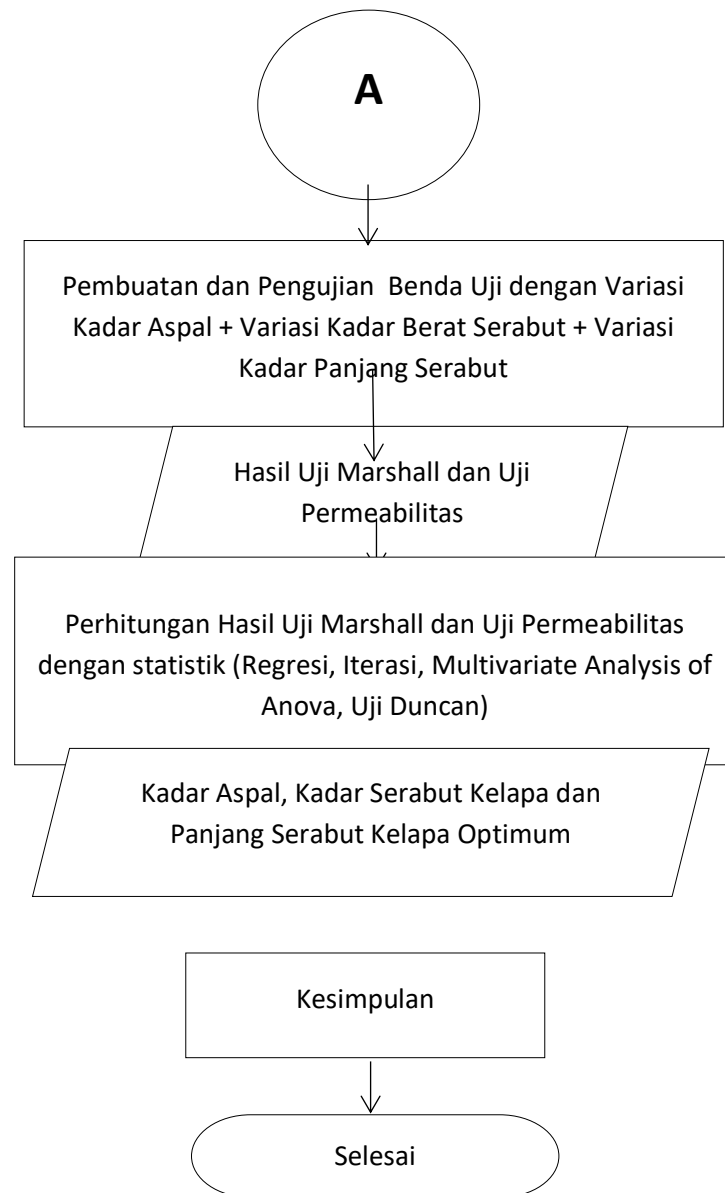
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Peneltian

Langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya.

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perlakuan tiga macam variasi kadar aspal, tiga macam kadar serabut kelapa, dengan tiga perulangan untuk setiap perlakuan. Sebagai kontrol dibuat benda uji dengan kadar aspal 4%, 5%, dan 6%.

Pembuatan benda uji digunakan untuk mencari kadar aspal optimum dengan beberapa variasi kadar aspal untuk mengetahui VIM, VMA, *Flow*, MQ dan Stabilitas dari masing-masing variasi. Banyaknya benda uji yang dibuat dapat ditentukan dengan rumus berikut (Suharto, 2004) :

$$(r - 1) \times (t - 1) \approx 15$$

Dimana:

r = Replikasi atau perulangan

t = *Treatment* atau perlakuan

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi kadar aspal, tiga variasi kadar serabut kelapa dan tiga variasi suhu waterbath. Sehingga jumlah *treatment* adalah 27, maka:

$$(r - 1) \times (t - 1) \approx 15$$

$$(r - 1) \times (27 - 1) = 15$$

$$27r - 1r - 27 + 1 = 15$$

$$26r - 27 = 15$$

$$r = (15 + 27)/27$$

$$r = 1,3 \approx 2 \text{ benda uji}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan benda uji minimal adalah dua buah. Pada penelitian ini digunakan benda uji sebanyak tiga buah, karena jika benda uji satu dan dua menghasilkan data yang berbeda jauh, maka benda uji ketiga dapat digunakan sebagai pembandingan pendekatan data. Jumlah benda uji digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji

Berat Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Kadar Aspal		
		4%	5%	6%
0,5	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,5	5	3 buah	3 buah	3 buah
0,5	7,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	7,5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	7,5	3 buah	3 buah	3 buah

Sumber : Hasil Penelitian

Variasi panjang serabut kelapa dan berat serabut kelapa pada penelitian ini didasari oleh penelitian sebelumnya (Sigit Pranowo, 2013) yang menggunakan variasi panjang serabut kelapa 5 mm – 12,5 mm dan variasi berat serabut kelapa 0,5% - 1,5% dengan nilai optimum panjang serabut kelapa yaitu 5 mm dan berat serabut kelapa 0,75%. Maka ditentukan variabel bebas dan variabel terikat untuk penelitian ini.

Variabel Bebas

- Kadar Aspal 4%, Kadar Aspal 5%, Kadar Aspal 6%, Kadar Serabut Kelapa 0,5%, Kadar Serabut Kelapa 0,75%, Kadar Serabut Kelapa 1%, Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm , Panjang Serabut Kelapa 5 mm, Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm.

Variabel Terikat

- Berat Jenis Campuran Beton Aspal, nilai stabilitas, nilai kelelahan (*flow*), nilai VFB, nilai VIM, nilai VMA, nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan nilai kepadatan (*density*).

3.4. Bahan-Bahan Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal yang mempunyai nilai penetrasi sebesar 60/70.

2. Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat yang berasal dari daerah Malang dan sekitarnya.

3. Serabut Kelapa

Serabut kelapa didapat dari Lokasi Industri di daerah Malang dan sekitarnya.

3.5. Pengujian Material

Adapun pengujian bahan dasar yang akan dilakukan adalah :

1. Aspal

- a. Pengujian penetrasi aspal.
- b. Percobaan pemeriksaan titik lembek aspal.
- c. Percobaan pemeriksaan titik nyala dan titik bakar aspal.
- d. Pemeriksaan daktilitas aspal.
- e. Pemeriksaan berat jenis aspal.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian aspal adalah :

- a. Seperangkat alat uji penetrasi.
- b. Seperangkat alat uji titik nyala dan titik bakar.
- c. Seperangkat alat uji titik lembek.
- d. Seperangkat alat uji berat jenis aspal (piknometer dan timbangan).
- e. Stopwatch.

2. Agregat

Pada bahan dasar agregat dilakukan pengujian :

- a. Percobaan analisa saringan agregat.
- b. Pengujian keausan agregat menggunakan alat abrasi Los Angeles (*Los Angeles Abrasion Test*).
- c. Pemeriksaan uji kekuatan terhadap tumbukan.
- d. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat.
- e. Pemeriksaan indeks kepipihan dan kelonjongan.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat :

1. Saringan standar dengan ukuran 3/4", 1/2", 3/8", no. 4, no. 8, no. 16, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200 dan PAN.
2. Mesin Los Angeles (tes abrasi).

3. *Aggregate Impact Machine*.
4. Seperangkat alat pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus (piknometer, timbangan dan pemanas).
5. Bak perendam.
6. Tabung *sand equivalent*.
7. Kuas, wadah, alat pengering (oven).

3.6 Pembuatan Benda Uji

Sebelum melakukan pencampuran, dalam penelitian ini dilakukan pengujian bahan yang akan digunakan, apakah memenuhi spesifikasi atau tidak. Kemudian dilanjutkan dengan membuat benda uji dengan kadar aspal yang sudah ditentukan yaitu 4%, 5%, dan 6% dengan variasi kadar serabut Kelapa 0,5%, 0,75% dan 1,0% serta panjang serabut kelapa 2,5 mm, 5 mm dan 7,5 mm seperti yang sudah dijelaskan pada tabel 3.1. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dan analisa untuk menentukan kadar aspal optimum.

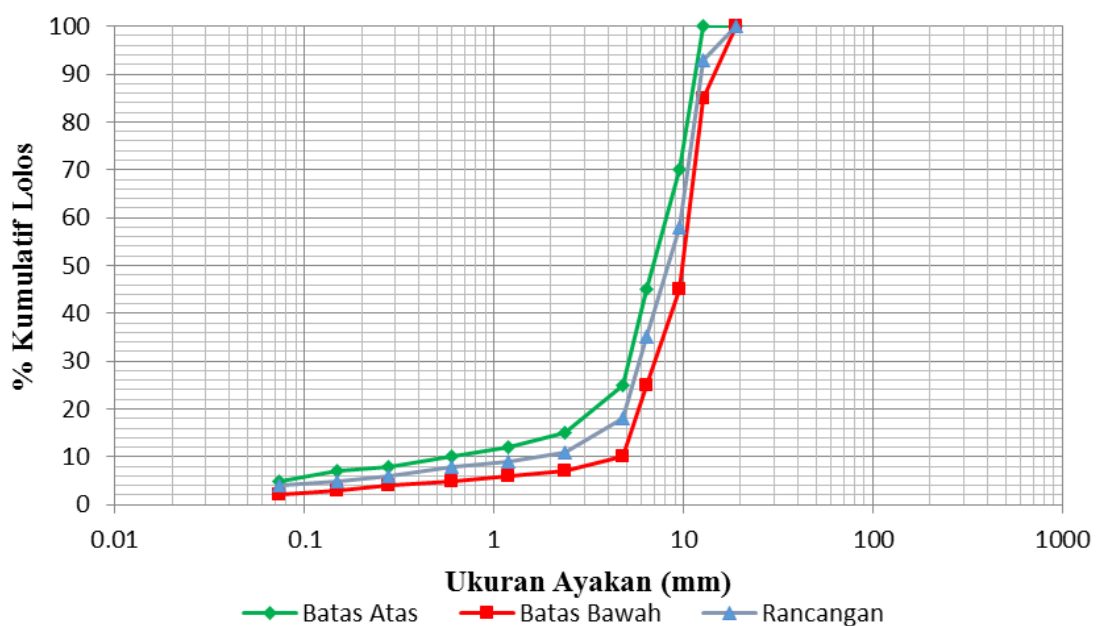
Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi Australia. Dikarenakan pada penelitian terdahulu, gradasi Australia stabilitas yang paling baik dibandingkan dengan gradasi yang lain.

Tabel 3.2 Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar Australia

Ukuran Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Rancangan (%)	Berat Agregat (gr)
19	100	100	100	0
12,7	100	85	93	63
9,53	70	45	58	315
6,35	45	25	35	207
4,76	25	10	18	153
2,38	15	7	11	63
1,19	12	6	9	18
0,595	10	5	8	9
0,279	8	4	6	18

Ukuran Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Rancangan (%)	Berat Agregat (gr)
0,149	7	3	5	9
0,75	5	2	4	9
PAN			0	36
TOTAL				900

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*



Gambar 3.2 Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar Australia

Standar gradasi Australia dipakai dalam pembuatan campuran aspal porus. Dalam pembuatan benda uji diperlukan beberapa macam peralatan seperti :

1. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm lengkap dengan pelat atas dan leher sambung.
2. Alat pengeluar benda uji. Untuk benda uji yang sudah dipadatkan dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat *ekstruder*.
3. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm. Seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Automatic Asphalt Compactor

4. Alat pengujian *Marshall* lengkap dengan dial, seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Alat Uji *Marshall*

5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur yang mampu memanaskan sampai suhu 200°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$).

6. Bak perendam (*waterbath*), seperti Gambar 3.5



Gambar 3.5 Bak Perendam (*Waterbath*)

7. Pengukur suhu (thermometer).
8. Jangka sorong.
9. Perlengkapan lain :
 - a. Panci-panci untuk memanaskan agregat.
 - b. Sendok pengaduk dan perlengkapan lain.
 - c. Kompor dan alat pemanas.
 - d. Sarung tangan dari asbes dan sarung tangan dari karet dan pelindung pernafasan atau masker.
 - e. Kompor gas elpiji atau listrik.

Langkah-langkah pembuatan benda uji meliputi :

a. Tahap I

1. Mempersiapkan agregat sesuai dengan campuran yang akan digunakan. Ukuran saringan yang digunakan yaitu :

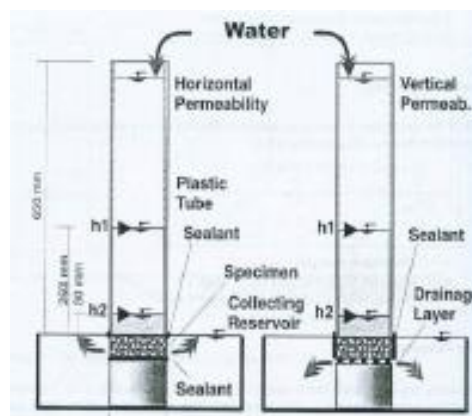
3/4"	(19,00 mm)
1/2"	(12,70 mm)
3/8"	(9,530 mm)
1/4"	(6,350 mm)
No. 4	(4,760 mm)
No. 8	(2,380 mm)
No. 16	(1,190 mm)
No. 30	(0,595 mm)
No. 50	(0,297 mm)
No. 100	(0,149 mm)
No. 200	(0,074 mm)

PAN

2. Memanaskan agregat dan aspal sampai suhu tertentu untuk aspal 140°C - 160°C sedangkan untuk pemanasan agregat maksimal 15° di atasnya. Sehingga ditentukan suhu pemanasan aspalnya adalah 160°C dan suhu pemanasan agregatnya adalah 160°C .
3. Pada suhu pemanasan aspal 140°C - 160°C dilakukan pencampuran kadar aspal 4%, 5%, dan 6% serta variasi kadar serabut kelapa 0,5%, 0,75% dan 1,0% dengan variasi panjang serabut kelapa 2,5mm, 5mm, dan 7,5mm.
4. Pada suhu yang telah ditentukan, agregat yang telah dipanaskan dicampur dengan aspal dengan komposisi tertentu sampai rata.
5. Campuran dipadatkan dengan *Marshall Compaction* pada suhu 150°C , dengan jumlah pukulan sebanyak 2 x 50 pukulan.
6. Setelah didinginkan, benda uji didiamkan selama 24 jam di dalam mold.
7. Kemudian dilakukan pengujian Permeabilitas dan pengujian *Marshall*.

3.7. Pengujian Permeabilitas

Berbagai persiapan benda uji, peralatan dan langkah percobaan *falling head* mengacu pada bab tinjauan pustaka tentang pengujian permeabilitas. Skema percobaan *falling head* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema Percobaan *falling head*

Sumber: www.puslit2.petra.co.id

Variabel yang mempengaruhi kecepatan permeabilitas antara lain tinggi benda uji, beda tekan aliran air, dan luas penampang. Perhitungan nilai permeabilitas pada percobaan *falling head* dapat dituliskan pada persamaan 3-1 :

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \times \left[\log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \right] \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana :

- k = Koefisien permeabilitas air (cm/s),
 a = Luas potongan melintang tabung (cm²)
 L = Tebal spesimen (cm),
 A = Luas potongan specimen (cm²)
 t = Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h₁ ke h₂ (s)
 h₁ = Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)
 h₂ = Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)

3.8. Pengujian Marshall Standar

Pengujian pada tahap ini untuk mendapatkan data guna menentukan kadar optimum aspal, permeabilitas, stabilitas dan *flow*. Tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menimbang masing-masing benda uji dan mengukur tinggi benda uji,
2. Merendam benda uji dalam air selama 30-40 menit pada suhu 60°C,
3. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam dan meletakkannya ke segmen bagian bawah kepala penekan dengan catatan waktu yang diperlukan dari saat pengangkatan benda uji dari bak perendam sampai beban maksimum tidak boleh lebih dari 30 detik,
4. Memasang segmen atas di atas dan meletakan keseluruhan dalam mesin penguji,
5. Memasang arloji pengukur pelelehan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan,
6. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol,
7. Memberikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum atau stabilitas (*stability*) yang dicapai, koreksi bebannya dengan menggunakan faktor perkalian yang bersangkutan. Mencatat nilai pelelehan (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3.9. Pengolahan Data

3.9.1 Analisis Data

1. Metode Grafik Pita

Metode grafik pita merupakan metode untuk mengetahui kadar optimum aspal dari sebuah campuran aspal dengan memodelkan variabel yang ingin diketahui menyerupai pita. Variabel yang diteliti pada grafik ini memiliki batasan masing-masing yang akan dijadikan acuan untuk mengambil titik tengah sehingga didapatkan kadar aspal optimum yang diinginkan.

2. Metode Grafik 3 Dimensi

Metode grafik 3 dimensi merupakan proses pemodelan grafik dengan mengembangkan representasi matematika dari setiap tiga-dimensi. Grafik 3D memiliki 3 sumbu didalamnya yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z yang digabungkan menjadi satu kesatuan. Kelebihan grafik 3 dimensi yaitu bisa menampilkan interaksi antara 3 variabel yang dimodelkan dalam bentuk objek 3 dimensi. Dalam hal ini perlakuan dua variabel mengikat masing-masing kadar aspal yang telah ditentukan pada rancangan penelitian.

3.9.2 Hipotesa Statistik

Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan stabilitas – *flow* serta *Voids in Mineral Agregate* (VMA), *Voids In Mixtures* (VIM) dan Marshall Quotient (MQ). Dalam menganalisis data digunakan analisis ragam (*Analysis of Variance*) atau yang lebih dikenal dengan ANOVA dan juga menggunakan analisis regresi. ANOVA yang digunakan yaitu Multivariate Anova karena didasarkan pada pengamatan lebih dari dua kriteria.

Beberapa hipotesis yang diuji sebagai berikut :

- $H_0^1 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$
 $H_1^1 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\alpha_i \text{ yang tidak sama } \neq 0$
- $H_0^2 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_j$
 $H_1^2 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\beta_j \text{ yang tidak sama } \neq 0$
- $H_0^3 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_{ij}$
 $H_1^3 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\beta_{ij} \text{ yang tidak sama } \neq 0$

Dimana :

- H_0 = hipotesis nol, yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh dari faktor komposisi kadar aspal dan faktor kadar aspal atau interaksi keduanya terhadap parameter campuran aspal porous.
- H_1 = hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari faktor komposisi kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa dengan faktor kadar aspal atau interaksi keduanya terhadap parameter campuran aspal porous.

Jika *output* menunjukkan nilai Probabilitas $> 0,05$; H_0 diterima, maka tidak ada pengaruh antara variasi kadar aspal, variasi kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa dalam karakteristik *Marshall*. Jika nilai Probabilitas $< 0,05$; H_0 ditolak, maka ada pengaruh antara variasi kadar aspal, variasi kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa dalam karakteristik *Marshall*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Material

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kualitas dari bahan yang akan digunakan, terdiri dari pemeriksaan aspal dan agregat sebagai pemeriksaan dasar untuk bahan pembuatan benda uji dan pemeriksaan benda uji dengan alat *Marshall* sebagai tujuan pokok penelitian.

4.1.1 Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal Penetrasi 60/70, dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik pada bahan pengikat (*binder*) pada campuran aspal yang akan dibuat. Kriteria standar acuan pencampuran harus terpenuhi dengan sifat-sifat fisik hasil pengujian laboratorium. Dalam penelitian ini, digunakan serabut kelapa yang diharapkan dapat meningkatkan aspal dari segi karakteristik *Marshall*. Hasil pengujian dari sifat-sifat aspal Penetrasi 60/70 dapat dilihat pada Tabel 4.1, sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

No	Uraian	Unit	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1.	Penetrasi	mm	65	68	66,56	Memenuhi
2.	Titik Lembek	°C	48,5	49	48,75	Memenuhi
3.	Daktilitas	mm	100	-	>1500	Memenuhi
4.	Titik Nyala	°C	200	-	322	Memenuhi
5.	Titik Bakar	°C	200	-	332	Memenuhi
6.	Berat Jenis		1	-	1.034	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian dan Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

Dari Tabel 4.1, telah diperlihatkan bahwa sifat fisik aspal Penetrasi 60/70 yang akan digunakan pada penelitian ini telah memenuhi syarat yang ditentukan untuk campuran aspal porus.

4.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada campuran aspal porus untuk penelitian ini merupakan agregat kasar dan agregat halus yang diambil di sekitar kota Malang, Jawa Timur. Perlu dilakukan pengujian terhadap agregat kasar dan halus tersebut untuk mengetahui sifat-sifat fisik pada masing-masing agregat tersebut. Pengujian karakteristik agregat dilaksanakan sesuai dengan metode dan persyaratan yang menjadi acuan pada penelitian ini. Hasil dari pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Batu Pecah

No	Uraian	Unit	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1.	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2.72	Memenuhi
2.	Berat Jenis SSD	-	-	-	2.75	Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.81	Memenuhi
4.	Penyerapan Air	%	-	3	1.2	Memenuhi
5.	Pengujian Los Angeles	%	-	40	14.86	Memenuhi
6.	Nilai Tumbukan	%	-	40	6.74	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian dan Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Batu Pecah

No	Uraian	Unit	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1.	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2,70	Memenuhi
2.	Berat Jenis SSD	-	2.5	-	2,77	Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	-	-	-	2,90	Memenuhi
4.	Penyerapan Air	%	-	3	2,60	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian dan Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

4.2 Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini akan dibuat benda uji menggunakan kadar aspal sebesar 4%, 5% dan 6%. Benda dicampur dengan menggunakan variasi kadar serabut kelapa 0.5%, 0.75% dan 1%, serta panjang serabut kelapa 2.5 mm, 5 mm dan 7.5 mm dengan suhu waterbath 60° dengan waktu 30 menit. Pembuatan benda uji sendiri meliputi persiapan bahan, pemanasan agregat, pencampuran agregat dengan aspal, pemadatan (*compact*). Pemanasan agregat dan aspal dilakukan bersamaan sampai temperatur mencapai 15°C - 20°C diatas temperature rencana. Serabut kelapa dicampur dengan aspal sebelum dipanaskan bersama agregat kemudian dicampur dengan agregat dan diaduk hingga rata. Pemadatan campuran dilakukan saat suhu pemadatan rencana yaitu 150°C dengan jumlah tumbukan 50 kali setiap tumbukan.

Variasi kadar aspal, variasi panjang serabut kelapa dan berat serabut kelapa serta jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.4, sebagai berikut :

Tabel 4.4 Rancangan Pembuatan Benda Uji

Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Kadar Aspal		
		4%	5%	6%
0,5	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,5	5	3 buah	3 buah	3 buah
0,5	7,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	7,5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	2,5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	5	3 buah	3 buah	3 buah
1,0	7,5	3 buah	3 buah	3 buah

Sumber: Hasil Penelitian

Setelah benda uji dibuat kemudian dilakukan uji permeabilitas. Setelah pengujian permeabilitas lalu dilanjutkan dengan pengujian *Marshall*. *Marshall Testing Machine* merupakan alat yang digunakan untuk pengujian *Marshall* dimana nilai stabilitas dan *Flow* dapat dilihat melalui pembacaan pada *proving ring*. Nilai stabilitas yang sebenarnya dapat diketahui nilai sebenarnya setelah dikalibrasi 25,74 (faktor kalibrasi alat), dan kemudian dikoreksi lagi dengan angka korelasi beban.

Hasil analisis *Marshall* standart terhadap campuran menghasilkan nilai :

1. *Void In Mixture* (VIM)
2. *Void In Mineral Agregat* (VMA)
3. *Flow*
4. Stabilitas
5. *Marshall Quotient* (MQ)

4.2.1 Hasil Pengujian *Void In Mixture* (VIM)

Hasil pengujian VIM dapat dilihat pada Tabel 4.5, sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai VIM (%)

Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	19.67	15.16	17.88	25.24	17.67	19.18	18.31	21.89	15.97
	19.17	15.10	16.33	21.86	19.31	17.73	10.73	27.46	18.43
	19.13	16.41	16.15	19.38	17.61	20.34	13.45	23.55	22.20
5%	17.82	17.39	13.61	17.85	15.38	17.68	14.90	20.40	18.81
	16.46	16.98	23.44	17.41	17.11	20.02	20.80	20.15	22.16
	18.27	16.64	20.37	15.76	17.46	16.76	24.91	20.19	19.91
6%	15.94	14.59	14.47	19.58	14.85	15.43	21.78	27.17	19.96
	15.56	17.51	13.76	22.03	21.31	15.16	20.09	19.40	16.86
	16.26	14.65	11.66	17.38	15.47	14.58	19.91	10.66	16.22

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.2 Hasil Pengujian *Flow*

Hasil pengujian *Flow* dapat dilihat pada Tabel 4.6, sebagai berikut :

Tabel 4.6 Nilai *Flow* (mm)

Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	4.1	2.2	2.8	3.2	3.4	1.9	2.4	2.0	2.0
	3.7	2.1	2.5	1.9	2.1	2.6	2.1	2.8	2.8
	1.6	2.6	2.5	2.3	2.3	3.0	2.4	2.1	2.5
5%	2.2	2.2	2.0	2.1	3.0	3.0	3.1	1.9	1.9
	3.0	2.2	2.7	2.7	2.5	4.1	3.1	1.1	1.1
	3.0	2.4	2.8	2.8	2.3	2.1	2.3	2.1	2.1
6%	3.3	2.1	2.1	2.7	3.8	2.1	2.5	2.8	2.8
	2.1	2.9	1.9	3.0	5.3	2.5	3.6	2.3	2.3
	2.0	2.5	2.5	3.3	4.0	2.4	2.6	2.4	2.4

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.3 Hasil Pengujian Stabilitas

Hasil pengujian Stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.7, sebagai berikut:

Tabel 4.7 Nilai Stabilitas (kg)

Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	532.59	637.89	462.98	414.15	414.15	695.88	397.17	450.66	434.96
	682.81	662.76	488.81	412.62	412.62	569.45	486.70	631.52	697.36
	449.84	635.39	473.86	481.10	481.10	559.10	635.22	666.32	730.98
5%	510.82	727.82	339.94	565.35	604.28	592.05	277.18	499.20	542.03
	605.73	637.25	507.83	489.20	701.46	447.67	410.63	473.27	524.96
	536.41	520.33	358.11	646.64	567.98	641.84	259.20	520.10	551.89
6%	579.90	325.40	442.01	336.07	482.78	484.82	374.26	533.83	542.03
	494.41	338.96	519.87	364.95	424.71	571.30	315.45	537.17	524.96
	546.25	391.14	485.43	421.72	715.69	528.05	313.25	590.44	551.89

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.4 Hasil Pengujian Marshall Quotient (MQ)

Hasil pengujian Stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.8, sebagai berikut:

Tabel 4.8 Nilai MQ (kg/mm)

Kadar Aspal	Panjang Serabut Kelapa/ Kadar Serabut Kelapa (mm/%)								
	2,5/0,5	2,5/0,75	2,5/1	5/0,5	5/0,75	5/1	7,5/0,5	7,5/0,75	7,5/1
4%	129.90	289.95	168.36	131.48	204.94	366.25	169.01	222.00	214.27
	184.54	323.30	199.51	219.48	236.04	219.02	237.41	229.64	253.59
	281.15	244.38	189.54	213.82	298.47	186.37	264.68	317.29	292.39
5%	232.19	330.83	169.97	275.78	204.84	197.35	90.88	262.74	285.28
	205.33	296.39	188.09	184.60	280.58	110.54	132.46	430.24	477.24
	181.83	216.80	127.90	230.94	246.95	305.64	112.69	250.05	265.33
6%	175.73	156.44	210.48	124.47	128.74	236.50	152.76	190.65	189.60
	235.44	116.88	273.62	123.71	80.13	233.19	88.86	238.74	237.05
	269.09	156.46	194.17	127.79	181.19	220.02	122.84	251.25	253.49

Sumber : Hasil Penelitian

4.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

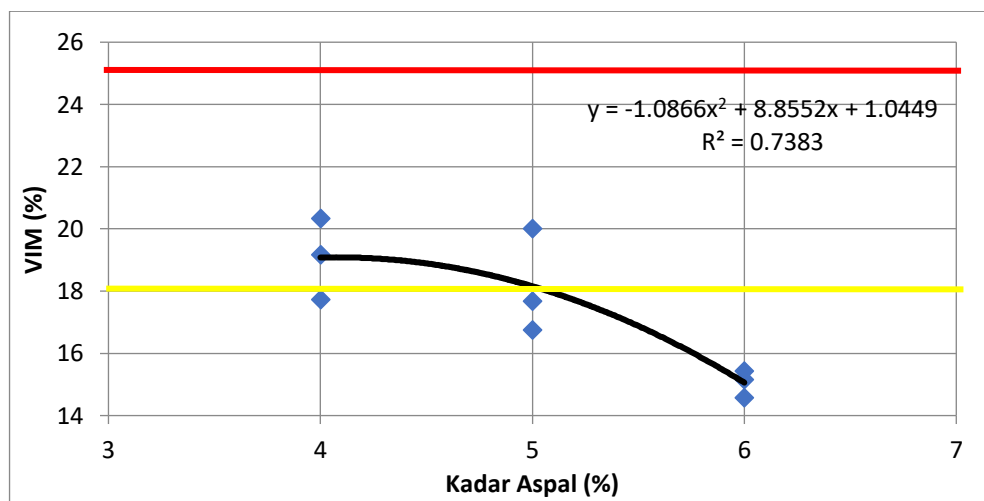
Dari hasil pengujian *Marshall* di atas telah diketahui nilai VIM, Stabilitas, *Flow* dan MQ dari campuran yang digunakan pada penelitian ini. Pada umumnya Kadar Aspal Optimum didapat dari nilai VMA, VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ yang memenuhi syarat standar untuk campuran. Berdasarkan spesifikasi standar Australia tidak ada batasan terhadap nilai VMA sehingga dalam menentukan besarnya Kadar Aspal Optimum hanya memperhitungkan nilai VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ.

Batasan-batasan karakteristik *Marshall* yaitu nilai VIM antara 18% - 25%, nilai *flow* antara 2 - 6 mm, nilai stabilitas minimal 500 kg dan nilai MQ maksimum 400 kg/mm. Penentuan optimum dari kadar aspal, kadar serabut kelapa serta panjang serabut kelapa ditentukan dengan grafik pita dan grafik 3D.

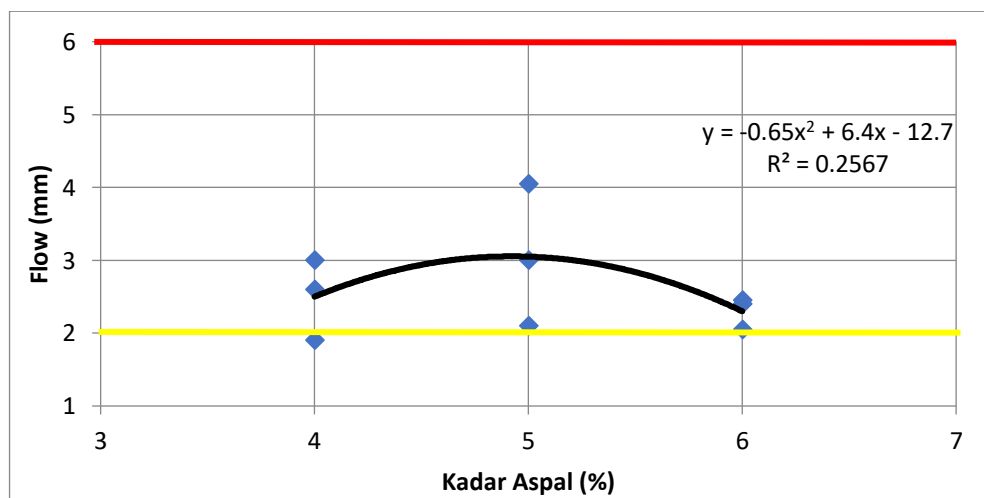
A. Metode Grafik Pita

Dari hasil pengujian *Marshall* pada tabel 4.1 s/d 4.4, telah diketahui nilai VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ (*Marshall Quotient*) yang memenuhi syarat batas untuk campuran aspal porus. Sebagai contoh diambil kemudian diplot ke dalam grafik Polynomial yang sesuai dengan variasi proporsi dibawah ini :

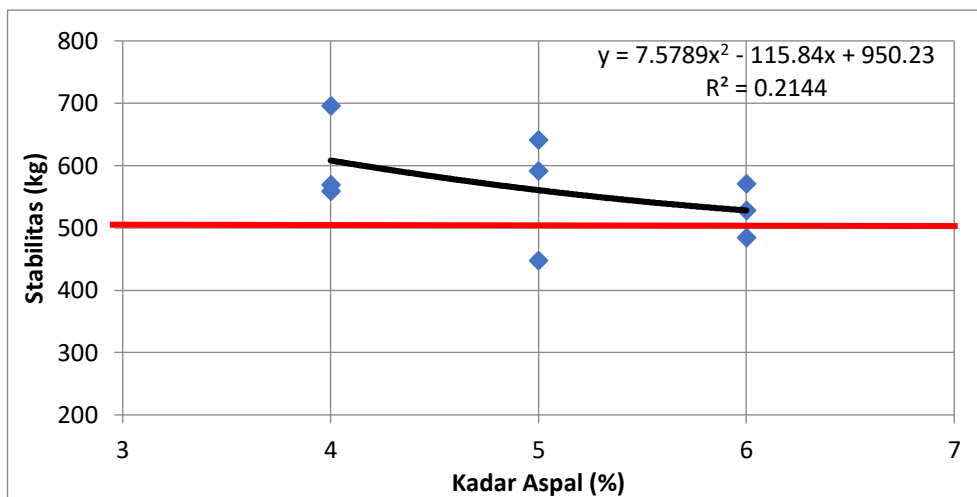
a. Proporsi Panjang Serabut Kelapa/Kadar Serabut Kelapa (5 mm/1%)



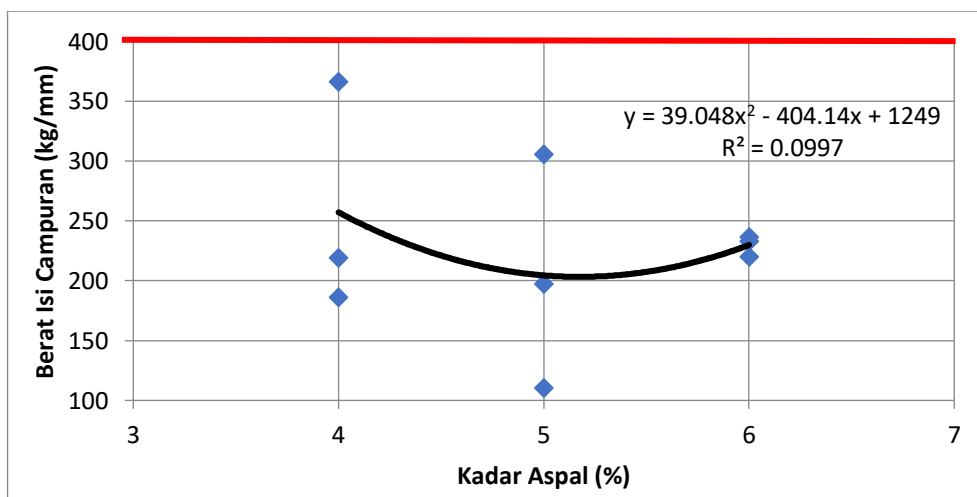
Gambar 4.1 Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar 4.2 Grafik Hubungan *Flow* pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1 %

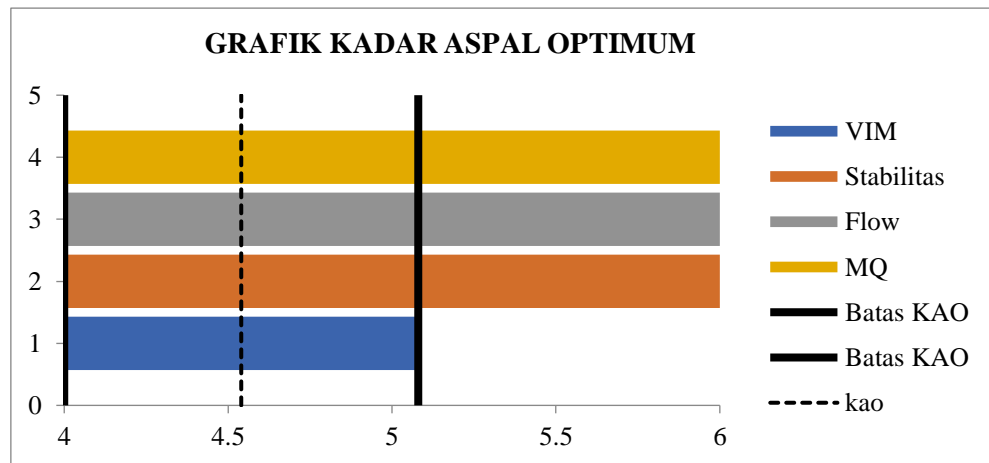


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1 %



Gambar 4.4 Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%

Berdasarkan grafik hubungan karakteristik *Marshall* terhadap kadar aspal pada gambar 4.1 s/d 4.4, dapat ditentukan persamaan regresi pada masing-masing grafik hubungan karakteristik. Untuk mendapatkan batas terhadap nilai kadar aspal dilakukan perhitungan secara matematis guna menentukan perpotongan kurva regresi terhadap nilai-nilai karakteristik *Marshall*. Dari batas-batas yang didapat, kemudian diplot ke dalam grafik pita pada Gambar 4.5. Grafik pita digambarkan seperti grafik bagan dengan sumbu horizontal sebagai kadar aspal. Berdasarkan grafik pita tersebut dapat ditentukan Kadar Aspal Optimum yang dicapai.



Gambar 4.5 Grafik Pita Campuran Aspal Porus Standar Australia

Untuk menentukan nilai kadar aspal optimum pada campuran dicari nilai tengah pada rentang kadar aspal yang memenuhi syarat. Didapatkan kadar aspal optimum dari campuran ini sebesar 4.54%. Dari persamaan polynomial grafik 4.1 s/d 4.4 kemudian dimasukkan batas-batas nilai yang ditentukan. Berdasarkan Kadar Aspal Optimum 4.54%, didapat hasil perhitungan sebagai berikut :

a. Perhitungan VIM

Dari grafik polynomial grafik hubungan VIM dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = -1.0866x^2 + 8.8552x + 1.0449$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai $x = 4.54$ pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai VIM pada kadar aspal optimum sebesar 18,85%.

b. Perhitungan *Flow*

Dari grafik polynomial grafik hubungan *flow* dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = -0.65x^2 + 6.4x - 12.7$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai $x = 4.54$ pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai *flow* pada kadar aspal optimum sebesar 2,96 mm.

c. Perhitungan Stabilitas

Dari grafik polynomial grafik hubungan stabilitas dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = 7.5789x^2 - 115.84x + 950.23$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai $x = 4.54$ pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai stabilitas pada kadar aspal optimum sebesar 580,53 mm.

d. Perhitungan MQ

Dari grafik polynomial grafik hubungan *flow* dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = 39.048x^2 - 404.14x + 1249$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai $x = 4.54$ pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai *flow* pada kadar aspal optimum sebesar 219,05 kg/mm.

Tabel 4.9 Hasil Nilai Karakteristik *Marshall* Australia (5 mm /1 %) dengan KAO 4.54%

Karakteristik	Persyaratan Australia	KAO = 4.54 %	Keterangan
VIM	18% - 25%	18.85	Memenuhi
Flow	2 – 6 mm	2.96	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	580.53	Memenuhi
MQ	< 400 kg/mm	219.05	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan cara yang sama, grafik hubungan prosentase aspal dengan nilai *Marshall* pada kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa lainnya dapat dilihat pada lampiran 3. Untuk rekapitulasi hasil penentuan kadar aspal optimum hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Karakteristik *Marshall*

Panjang Serabut Kelapa	Kadar Serabut Kelapa	Kadar Aspal Optimum	Karakteristik				AAPA
			VIM	Flow	Stabilitas	MQ	
2.5	0.5	4.35	18.72	2.93	562.44	205.41	Memenuhi
2.5	0.75	4.79	16.93	2.23	669.23	293.28	Tidak Memenuhi
2.5	1	4.67	19.64	2.48	406.10	163.15	Tidak Memenuhi
5	0.5	4.76	17.46	2.63	580.95	240.66	Tidak Memenuhi
5	0.75	4.10	18.31	2.49	623.54	251.27	Memenuhi
5	1	4.54	18.85	2.96	580.53	219.05	Memenuhi
7.5	0.5	5.25	21.52	2.83	298.75	104.04	Tidak Memenuhi
7.5	0.75	4.95	20.72	1.69	498.38	314.90	Tidak Memenuhi
7.5	1	4.96	20.31	1.69	541.06	343.22	Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari rekap hasil pada tabel 4.10 dengan menggunakan metode grafik pita ditentukan bahwa kadar aspal optimum 4.1% , kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 5% . Sebab nilai stabilitas dan VIM yang terbaik diantara variasi yang lain.

B. Metode Grafik 3D

Metode ini menggunakan salah satu program pengolahan data statistik yang didapat dari hasil penelitian. Pada metode ini merupakan grafik dimana variasi kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa dengan variasi masing-masing kadar aspal 4%, 5% dan 6%. Gambar 4.6 s/d 4.17 adalah hasil pengolahan data yang dihasilkan sebagai berikut:

$$VIM = 20.9896 - 6.0963 x_1 - 6.3358 x_2 + 6.1667 x_1 x_2 + 4.6932 x_1^2 + 3.05966 x_2^2$$

Design-Expert® Software

VIM

27.4575

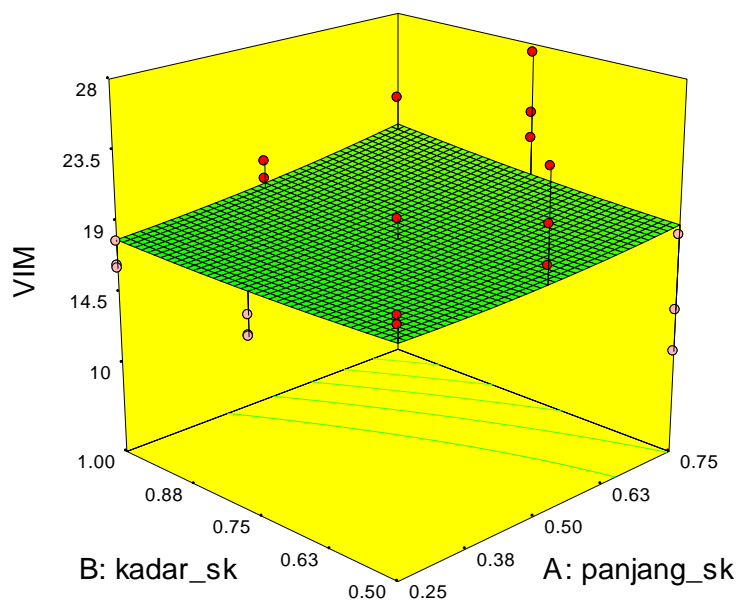
7.48053

X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 4.00



Gambar 4.6 Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 4%

Tabel 4.6 Hasil Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 4%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	VIM (%)	AAPA
4	0.5	2.5	18.13	Memenuhi
4	0.5	5	18.25	Memenuhi
4	0.5	7.5	18.97	Memenuhi
4	0.75	2.5	17.88	Tidak Memenuhi
4	0.75	5	18.40	Memenuhi
4	0.75	7.5	19.50	Memenuhi
4	1	2.5	18.02	Memenuhi
4	1	5	18.92	Memenuhi
4	1	7.5	20.41	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$VIM = 21.9668 - 3.5345 x_1 - 9.6776 x_2 + 6.1667 x_1 x_2 + 4.6932 x_1^2 + 3.05966 x_2^2$$

Design-Expert® Software

VIM

27.4575

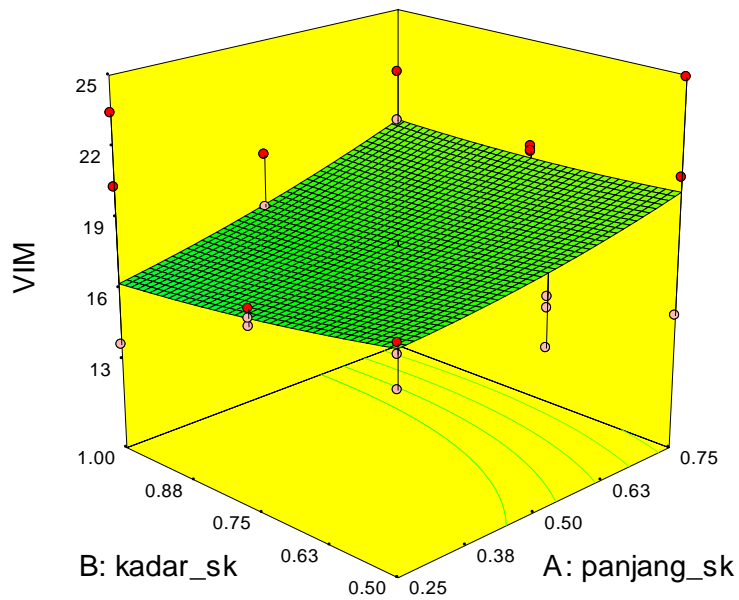
7.48053

X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 5.00



Gambar 4.7 Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 5%

Tabel 4.7 Hasil Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 5%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	VIM (%)	AAPA
5	0.5	2.5	18.07	Memenuhi
5	0.5	5	18.84	Memenuhi
5	0.5	7.5	20.19	Memenuhi
5	0.75	2.5	17.00	Tidak Memenuhi
5	0.75	5	18.15	Memenuhi
5	0.75	7.5	19.89	Memenuhi
5	1	2.5	16.30	Tidak Memenuhi
5	1	5	17.84	Tidak Memenuhi
5	1	7.5	19.96	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$VIM = 21.639 - 0.9727 x_1 - 13.0194 x_2 + 6.1667 x_1 x_2 + 4.6932 x_1^2 + 3.05966$$

Design-Expert® Software

VIM

27.4575

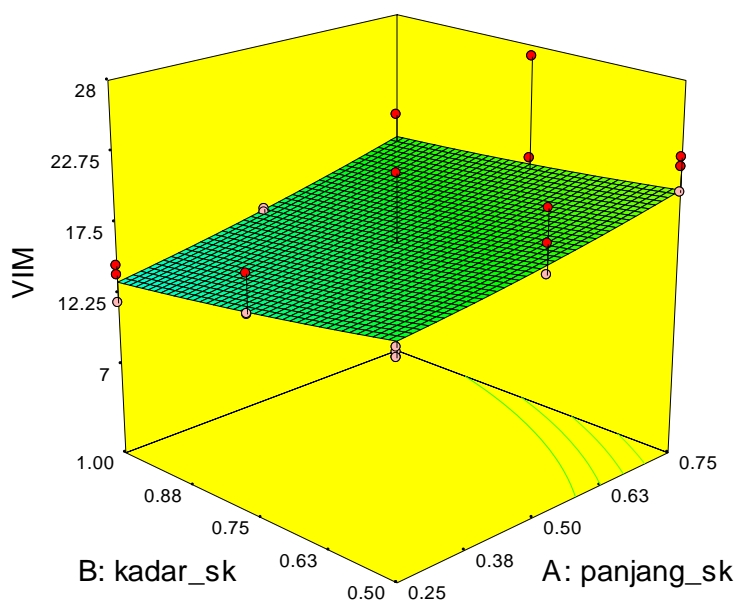
7.48053

X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 6.00



Gambar 4.8 Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 6%

Tabel 4.8 Hasil Grafik 3D VIM pada Kadar Aspal 6%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	VIM (%)	AAPA
6	0.5	2.5	16.72	Tidak Memenuhi
6	0.5	5	18.12	Memenuhi
6	0.5	7.5	20.12	Memenuhi
6	0.75	2.5	14.80	Tidak Memenuhi
6	0.75	5	16.59	Tidak Memenuhi
6	0.75	7.5	18.97	Memenuhi
6	1	2.5	13.27	Tidak Memenuhi
6	1	5	15.45	Tidak Memenuhi
6	1	7.5	18.21	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$Flow = 1.5735 + 5.5391 x_1 + 0.3861 x_2 + 0.2933x_1x_2 - 6.6074 x_1^2 - 0.5274 x_2^2$$

Design-Expert® Software

Flow

5.3

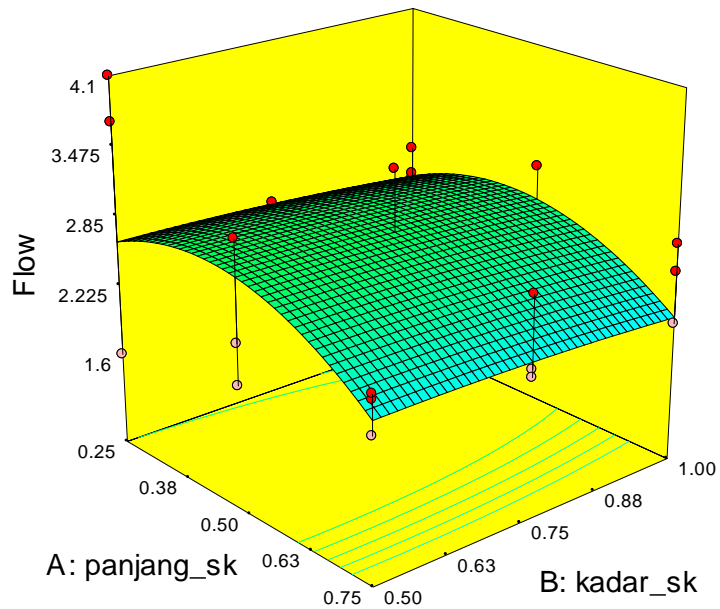
1.1

X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 4.00



Gambar 4.9 Grafik 3D Flow pada Kadar Aspal 4%

Tabel 4.9 Hasil Grafik 3D *Flow* pada Kadar Aspal 4%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Flow (mm)	AAPA
4	0.5	0.25	2.64	Memenuhi
4	0.5	0.5	2.83	Memenuhi
4	0.5	0.75	2.18	Memenuhi
4	0.75	0.25	2.59	Memenuhi
4	0.75	0.5	2.79	Memenuhi
4	0.75	0.75	2.17	Memenuhi
4	1	0.25	2.48	Memenuhi
4	1	0.5	2.70	Memenuhi
4	1	0.75	2.09	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$Flow = 1.4449 + 5.9235 x_1 + .2017 x_2 + 0.2933x_1x_2 - 6.6074 x_1^2 - 0.5274 x_2^2$$

Design-Expert® Software

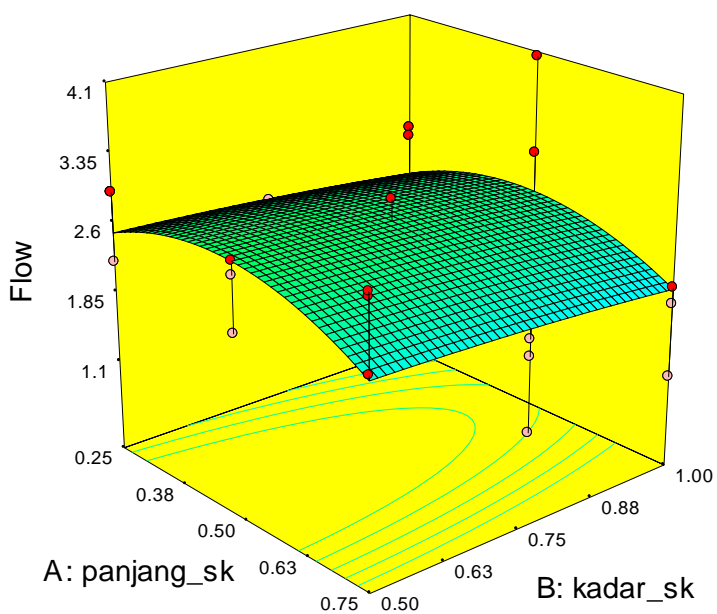
Flow
5.3
1.1

X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 5.00



Gambar 4.10 Grafik 3D Flow pada Kadar Aspal 5%

Tabel 4.10 Hasil Grafik 3D *Flow* pada Kadar Aspal 5%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	<i>Flow</i> (mm)	AAPA
5	0.5	0.25	2.52	Memenuhi
5	0.5	0.5	2.80	Memenuhi
5	0.5	0.75	2.25	Memenuhi
5	0.75	0.25	2.42	Memenuhi
5	0.75	0.5	2.72	Memenuhi
5	0.75	0.75	2.19	Memenuhi
5	1	0.25	2.26	Memenuhi
5	1	0.5	2.58	Memenuhi
5	1	0.75	2.07	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

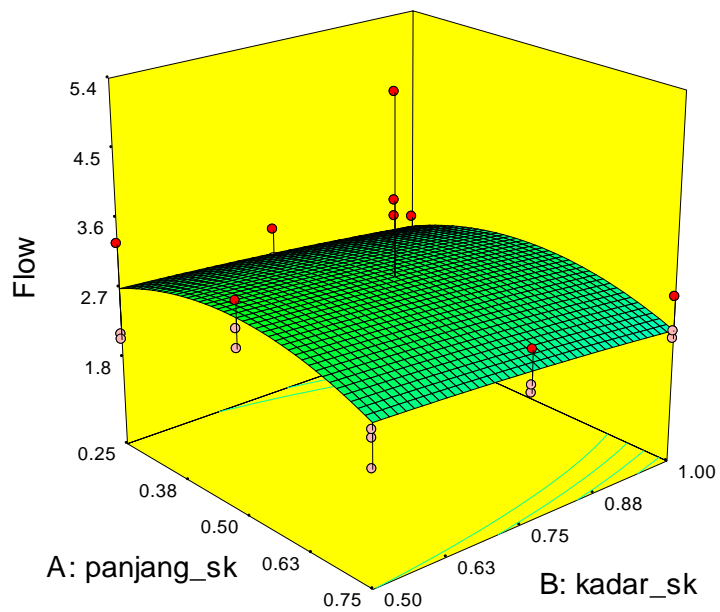
$$Flow = 1.6427 + 6.3079 x_1 + 0.0173 x_2 + 0.2933x_1x_2 - 6.6074 x_1^2 - 0.5274 x_2^2$$

Design-Expert® Software

Flow
5.3
1.1

X1 = A: panjang_sk
X2 = B: kadar_sk

Actual Factor
C: kadar_aspal = 6.00



Gambar 4.11 Grafik 3D Flow pada Kadar Aspal 6%

Tabel 4.11 Hasil Grafik 3D *Flow* pada Kadar Aspal 6%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	<i>Flow</i> (mm)	AAPA
6	0.5	0.25	2.72	Memenuhi
6	0.5	0.5	3.09	Memenuhi
6	0.5	0.75	2.64	Memenuhi
6	0.75	0.25	2.58	Memenuhi
6	0.75	0.5	2.97	Memenuhi
6	0.75	0.75	2.54	Memenuhi
6	1	0.25	2.37	Memenuhi
6	1	0.5	2.78	Memenuhi
6	1	0.75	2.37	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

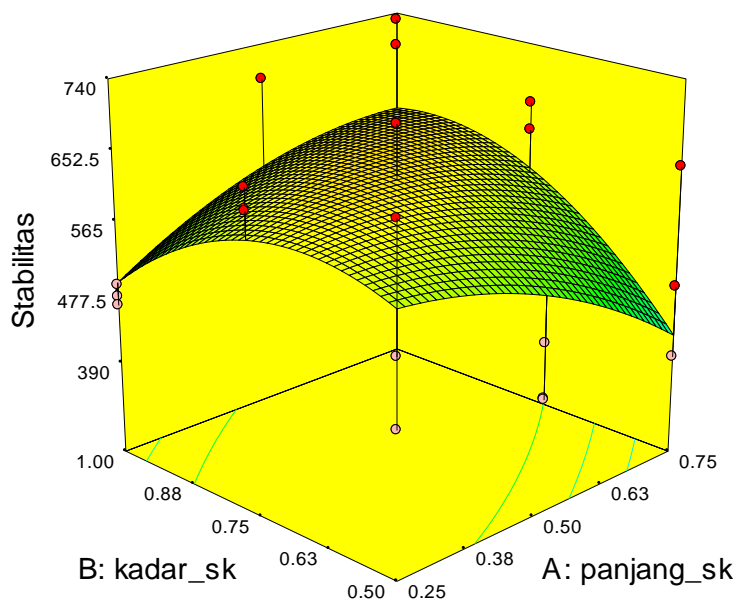
$$STABILITAS = 296.1574 - 366.784 x_1 + 1052.081 x_2 + 1129.7225 x_1 x_2 - 519.1734 x_1^2 - 1014.6945 x_2^2$$

Design-Expert® Software

Stabilitas


X1 = A: panjang_sk
 X2 = B: kadar_sk

Actual Factor
 C: kadar_aspal = 4.00



Gambar 4.12 Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 4%

Tabel 4.12 Hasil Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 4%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Stabilitas (kg)	AAPA
4	0.5	2.5	585.60	Memenuhi
4	0.5	5	537.77	Memenuhi
4	0.5	7.5	425.05	Tidak Memenuhi
4	0.75	2.5	602.13	Memenuhi
4	0.75	5	624.91	Memenuhi
4	0.75	7.5	582.80	Memenuhi
4	1	2.5	491.83	Tidak Memenuhi
4	1	5	585.22	Memenuhi
4	1	7.5	613.71	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$STABILITAS = 223.2284 - 356.987 x_1 + 1089.064 x_2 + 1129.7225 x_1 x_2 - 519.1734 x_1^2 - 1014.6945 x_2^2$$

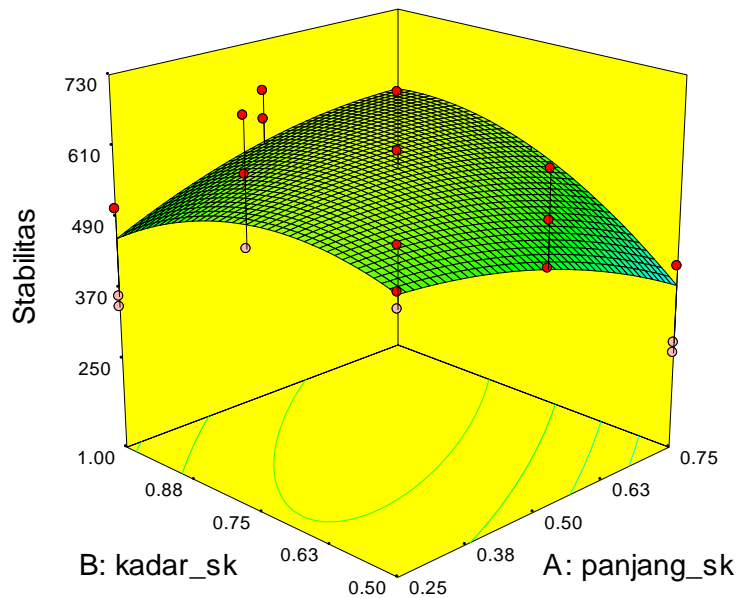
Design-Expert® Software

Stabilitas

 730.982
 259.195

X1 = A: panjang_sk
 X2 = B: kadar_sk

Actual Factor
 C: kadar_aspal = 5.00



Gambar 4.13 Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 5%

Tabel 4.13 Hasil Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 5%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Stabilitas (kg)	AAPA
5	0.5	2.5	533.61	Memenuhi
5	0.5	5	488.23	Tidak Memenuhi
5	0.5	7.5	377.96	Tidak Memenuhi
5	0.75	2.5	559.39	Memenuhi
5	0.75	5	584.62	Memenuhi
5	0.75	7.5	544.95	Memenuhi
5	1	2.5	458.33	Tidak Memenuhi
5	1	5	554.18	Memenuhi
5	1	7.5	585.11	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$STABILITAS = 142.8084 - 347.191 x_1 + 1126.046 x_2 + 1129.7225x_1x_2 - 519.1734 x_1^2 - 1014.6945 x_2^2$$

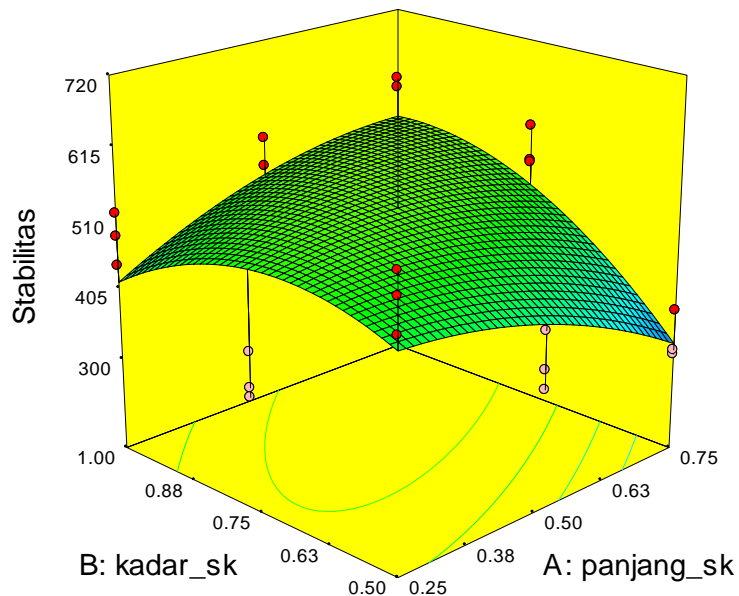
Design-Expert® Software

Stabilitas

 730.982
 259.195

X1 = A: panjang_sk
 X2 = B: kadar_sk

Actual Factor
 C: kadar_aspal = 6.00



Gambar 4.14 Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 6%

Tabel 4.14 Hasil Grafik 3D Stabilitas pada Kadar Aspal 6%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	Stabilitas (kg)	AAPA
6	0.5	2.5	533.61	Tidak Memenuhi
6	0.5	5	488.23	Tidak Memenuhi
6	0.5	7.5	377.96	Tidak Memenuhi
6	0.75	2.5	559.39	Memenuhi
6	0.75	5	584.62	Memenuhi
6	0.75	7.5	544.95	Tidak Memenuhi
6	1	2.5	458.33	Tidak Memenuhi
6	1	5	554.18	Memenuhi
6	1	7.5	585.11	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$MQ = 173.695 - 609.252 x_1 + 481.7774 x_2 + 538.5211 x_1 x_2 + 267.1333 x_1^2 - 459.1728 x_2^2$$

Design-Expert® Software

MQ

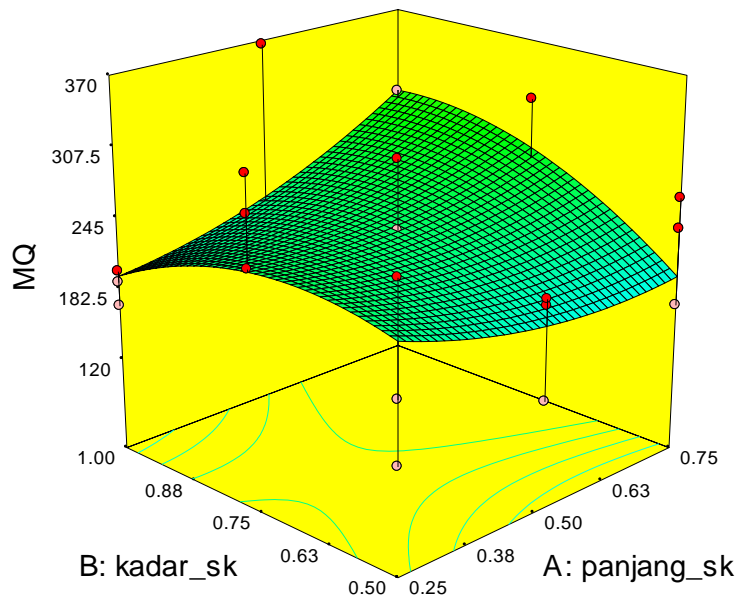


X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 4.00



Gambar 4.15 Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 4%

Tabel 4.15 Hasil Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 4%

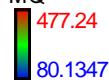
Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	MQ	AAPA
4	0.5	0.25	231.49	Memenuhi
4	0.5	0.5	196.58	Memenuhi
4	0.5	0.75	195.06	Memenuhi
4	0.75	0.25	242.10	Memenuhi
4	0.75	0.5	240.85	Memenuhi
4	0.75	0.75	272.99	Memenuhi
4	1	0.25	195.31	Memenuhi
4	1	0.5	227.72	Memenuhi
4	1	0.75	293.51	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$MQ = 173.695 - 609.252 x_1 + 481.7774 x_2 + 538.5211 x_1 x_2 + 267.1333 x_1^2 - 459.1728 x_2^2$$

Design-Expert® Software

MQ

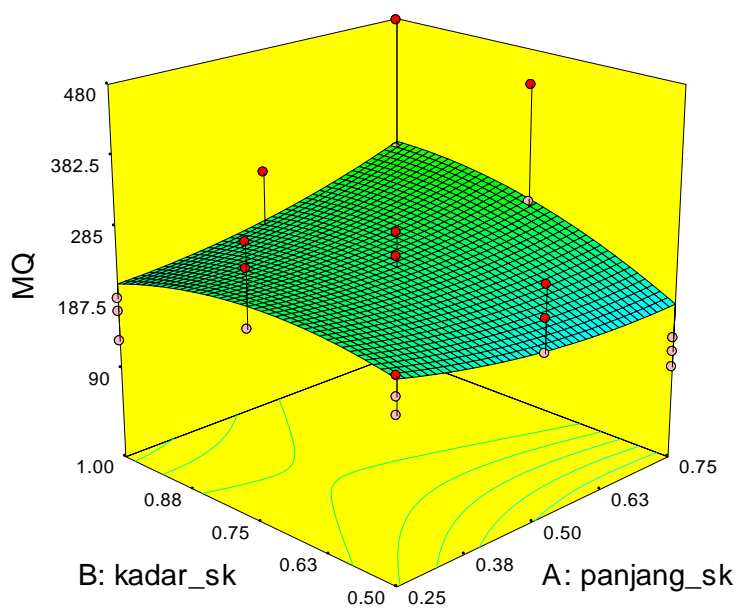


X1 = A: panjang_sk

X2 = B: kadar_sk

Actual Factor

C: kadar_aspal = 5.00



Gambar 4.16 Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 5%

Tabel 4.16 Hasil Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 5%

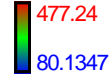
Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	MQ	AAPA
5	0.5	0.25	228.49	Memenuhi
5	0.5	0.5	188.19	Memenuhi
5	0.5	0.75	181.27	Memenuhi
5	0.75	0.25	247.74	Memenuhi
5	0.75	0.5	241.09	Memenuhi
5	0.75	0.75	267.84	Memenuhi
5	1	0.25	209.59	Memenuhi
5	1	0.5	236.61	Memenuhi
5	1	0.75	297.01	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

$$MQ = 96.7974 - 652.396x_1 + 550.9002x_2 + 538.5211x_1x_2 + 267.1333x_1^2 - 459.1728x_2^2$$

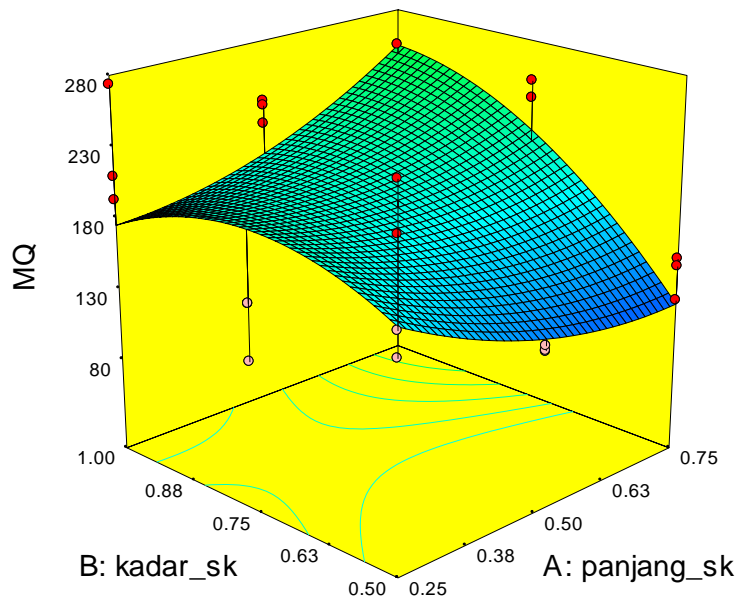
Design-Expert® Software

MQ



X1 = A: panjang_sk
X2 = B: kadar_sk

Actual Factor
C: kadar_aspal = 6.00



Gambar 4.17 Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 6%

Tabel 4.17 Hasil Grafik 3D MQ pada Kadar Aspal 6%

Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	MQ	AAPA
6	0.5	0.25	178.37	Memenuhi
6	0.5	0.5	132.67	Memenuhi
6	0.5	0.75	120.37	Memenuhi
6	0.75	0.25	206.26	Memenuhi
6	0.75	0.5	194.22	Memenuhi
6	0.75	0.75	215.57	Memenuhi
6	1	0.25	176.75	Memenuhi
6	1	0.5	198.37	Memenuhi
6	1	0.75	253.38	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

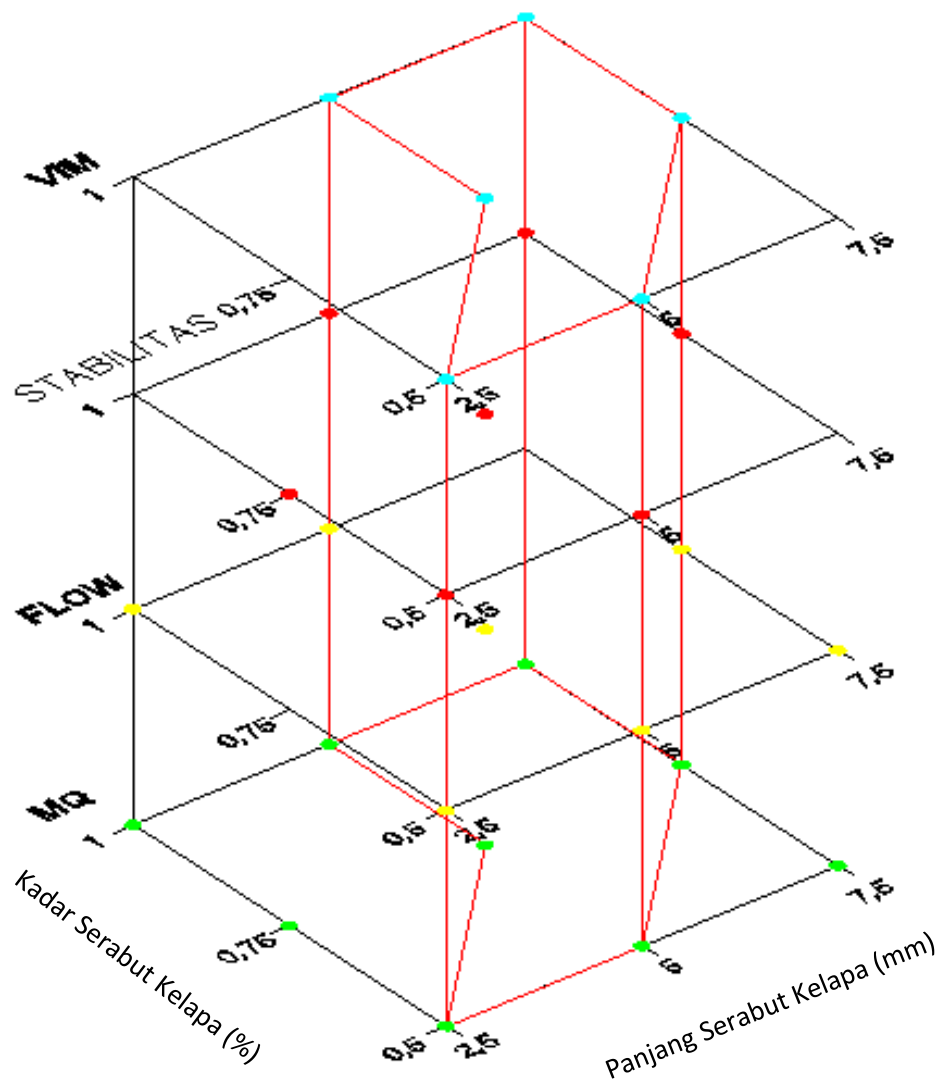
Kemudian setelah data-data tersebut diperoleh dari hasil program statistik, maka rekapitulasi hasil grafik 3D dari setiap nilai karakteristik *Marshall* pada kadar aspal dapat dilihat pada tabel 4.23 sebagai berikut:

Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Grafik 3D Karakteristik *Marshall* Pada Masing-Masing Kadar Aspal (4%, 5%, 6%)

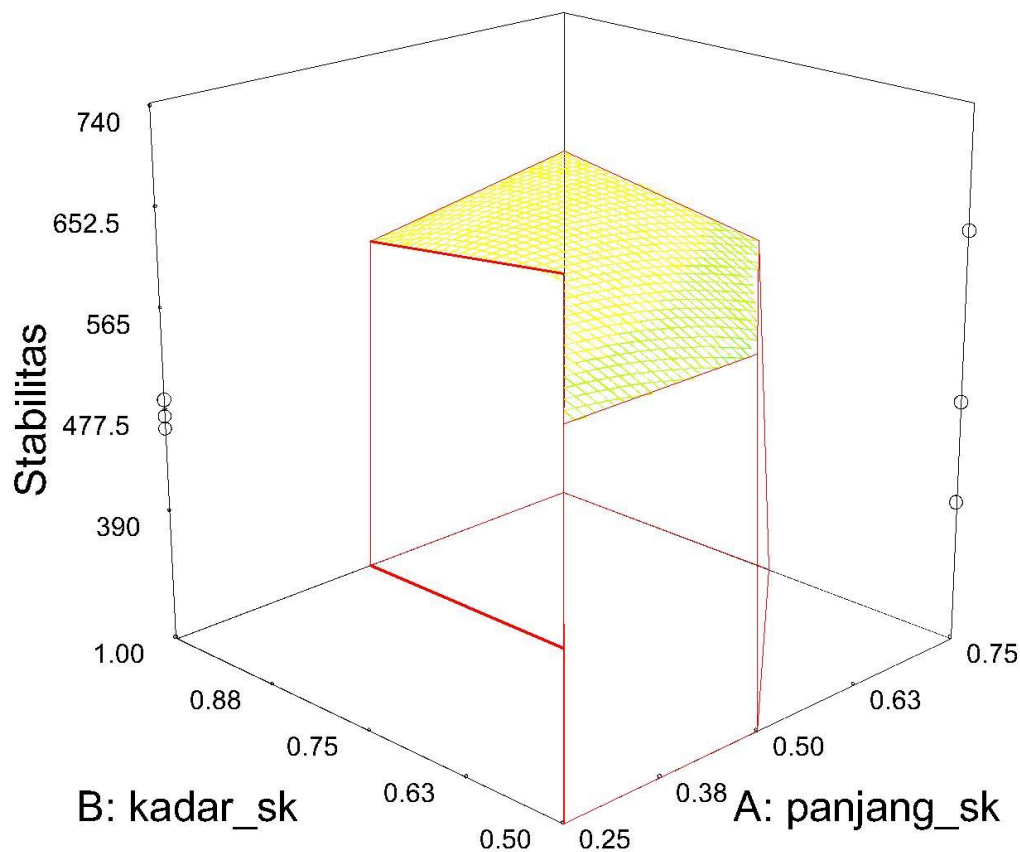
Kadar Aspal (%)	Kadar Serabut Kelapa (%)	Panjang Serabut Kelapa (mm)	VIM (%)	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	MQ	AAPA
4	0.5	2.5	18.13	2.64	585.60	231.49	Memenuhi
4	0.5	5	18.25	2.83	537.77	196.58	Memenuhi
4	0.5	7.5	18.97	2.18	425.05	195.06	Tidak Memenuhi
4	0.75	2.5	17.88	2.59	602.13	242.10	Tidak Memenuhi
4	0.75	5	18.40	2.79	624.91	240.85	Memenuhi
4	0.75	7.5	19.50	2.17	582.80	272.99	Memenuhi
4	1	2.5	18.02	2.48	491.83	195.31	Tidak Memenuhi
4	1	5	18.92	2.70	585.22	227.72	Memenuhi
4	1	7.5	20.41	2.09	613.71	293.51	Memenuhi
5	0.5	2.5	18.07	2.52	533.61	228.49	Memenuhi
5	0.5	5	18.84	2.80	488.23	188.19	Tidak Memenuhi
5	0.5	7.5	20.19	2.25	377.96	181.27	Tidak Memenuhi
5	0.75	2.5	17.00	2.42	559.39	247.74	Tidak Memenuhi
5	0.75	5	18.15	2.72	584.62	241.09	Memenuhi
5	0.75	7.5	19.89	2.19	544.95	267.84	Memenuhi
5	1	2.5	16.30	2.26	458.33	209.59	Tidak Memenuhi
5	1	5	17.84	2.58	554.18	236.61	Tidak Memenuhi
5	1	7.5	19.96	2.07	585.11	297.01	Memenuhi
6	0.5	2.5	16.72	2.72	533.61	178.37	Tidak Memenuhi
6	0.5	5	18.12	3.09	488.23	132.67	Tidak Memenuhi
6	0.5	7.5	20.12	2.64	377.96	120.37	Tidak Memenuhi
6	0.75	2.5	14.80	2.58	559.39	206.26	Tidak Memenuhi
6	0.75	5	16.59	2.97	584.62	194.22	Tidak Memenuhi
6	0.75	7.5	18.97	2.54	544.95	215.57	Memenuhi
6	1	2.5	13.27	2.37	458.33	176.75	Tidak Memenuhi
6	1	5	15.45	2.78	554.18	198.37	Tidak Memenuhi
6	1	7.5	18.21	2.37	585.11	253.38	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada gambar dibawah 4.18 dan 4.19, layer-layer untuk setiap nilai karakteristik *Marshall* yang sesuai dengan standar yang diisyaratkan dimasukan sesuai dengan rekapitulasi hasil grafik 3D. Kemudian layer tersebut disusun sedemikian hingga dengan skala yang sudah ditentukan dengan kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa pada keadaan kadar aspal 4%. Kemudian dicari titik-titik yang berhimpitan atau yang segaris untuk nilai VIM, *Flow*, Stabilitas dan MQ. Titik-titik tersebut merupakan yang memenuhi standar yang diisyaratkan.



Gambar 4.18 Grafik 3D Penentuan Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa Optimum Pada Kadar Aspal 4%



Gambar 4.19 Grafik 3D Batas Nilai Stabilitas Penentuan Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa Optimum Pada Kadar Aspal 4%

Dari ketiga cara tersebut, maka rekapitulasi kadar optimum dapat dilihat pada Tabel 4.24 , sebagai berikut :

Tabel 4.24 Rekapitulasi Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa Optimum

Metode	Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa	Panjang Serabut Kelapa	VIM	Flow	Stabilitas	MQ
Grafik Pita	4.1% (*)	0.75%	5 mm	18.31	2.49	623.54	251.27
Grafik 3D VIM	4% (**)	1%	7.5 mm	20.41	2.09	613.71	293.51
Grafik 3D Stabilitas	4% (**)	0.75%	5 mm	18.40	2.79	624.91	240.85

Catatan:

(*) Kadar Aspal Optimum yang didapatkan dari metode grafik pita.

(**) Kadar Aspal yang didapatkan dari metode grafik 3 Dimensi.

Sumber: Hasil Penelitian

Setelah dilakukan dua cara untuk mendapatkan kadar aspal optimum, kadar serabut kelapa optimum dan panjang serabut kelapa optimum maka ditemukan ada penambahan nilai

pada karakteristik *Marshall*. Sehingga ditentukan kadar aspal optimum 4%, kadar serabut kelapa optimum 0.75% dan panjang serabut kelapa optimum 5 mm.

4.4 Analisa Statistik Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Aspal Porus

Berdasarkan data penelitian yang didapatkan, untuk mengetahui adanya pengaruh atau perbedaan dari variabel yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan analisis statistik menggunakan analisis Multivariate Analysis of Variance karena faktor yang diteliti ada 3.

Multivariate ANOVA digunakan untuk menguji apakah campuran aspal porus yang menggunakan serabut kelapa berdasarkan variasi kadar dan panjang memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai VIM, stabilitas, *flow*, dan MQ. Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

- a. H_{01} : Tidak terdapat pengaruh kadar aspal terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{11} : Terdapat pengaruh kadar aspal terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

- b. H_{02} : Tidak terdapat pengaruh kadar serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{12} : Terdapat pengaruh kadar serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

- c. H_{03} : Tidak terdapat pengaruh panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{13} : Terdapat pengaruh panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

- d. H_{04} : Tidak terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal dan kadar serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{14} : Terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal dan kadar serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

- e. H_{05} : Tidak terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal dan panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{15} : Terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal dan panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

- f. H_{06} : Tidak terdapat pengaruh interaksi antara kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{16} : Terdapat pengaruh interaksi antara kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

g. H_{07} : Tidak terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

H_{17} : Terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

Kriteria pengambilan keputusan :

Jika nilai $p < \alpha$ (0.05) maka terima H_0

Jika nilai $p > \alpha$ (0.05) maka tolak H_0

- a. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai VIM maka digunakan analisis anova tiga arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.25 sebagai berikut :

Tabel 4.25 Uji Pengaruh Antar Parameter untuk VIM

Analysis Of Variance					
Variasi: VIM					
Sumber Variasi	d.f.	jumlah s.	Rata-rata s.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	51.491	25.745	2.92	0.062
Kadar Serabut Kelapa	2	14.226	7.113	0.81	0.452
Panjang Serabut Kelapa	2	114.445	57.222	6.49	0.003
Kadar Aspal Kadar Serabut Kelapa	4	62.630	15.658	1.78	0.147
Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa	4	54.039	13.510	1.53	0.206
Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	4	80.808	20.202	2.29	0.071
Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	8	137.143	17.143	1.94	0.072
Residual	54	476.006	8.815		
Total	80	990.786			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada tabel 4.25 dapat disimpulkan bahwa :

- Hipotesis pertama didapatkan nilai p sebesar 0.062 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai p sebesar 0.452 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar serabut kelapa.

- Hipotesis ketiga didapatkan nilai p sebesar 0.003 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing panjang serabut kelapa.
- Hipotesis keempat didapatkan nilai p sebesar 0.147 lebih besar 0,05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal dan kadar serabut kelapa.
- Hipotesis kelima didapatkan nilai p sebesar 0.206 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis keenam didapatkan nilai p sebesar 0.071 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis ketujuh didapatkan nilai p sebesar 0.072 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.

Uji lanjut digunakan untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai VIM yang berbeda, maka pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

Tabel 4.26 Uji Duncan VIM KadarAspal

Perlakuan	Rata-rata	
6	16.92	
5	18.47	
4	18.72	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.26, kadar aspal yang menghasilkan nilai VIM tertinggi adalah ketika persentase kadar aspal sebesar 4% dimana kadar aspal 4% menghasilkan nilai VIM yang sama dengan kadar aspal 5%.

Tabel 4.27 Uji Duncan VIM Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata	
1.00	17.60	
0.75	17.91	
0.50	18.60	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.27, kadar serabut kelapa yang menghasilkan nilai VIM tertinggi adalah ketika persentase kadar serabut kelapa sebesar 0.5% dimana kadar serabut kelapa 0.5% sama untuk semua level.

Tabel 4.28 Uji Duncan VIM Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata	
2.5	16.69	
5.0	17.84	
7.5	19.58	

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 4.28, panjang serabut kelapa yang menghasilkan nilai VIM tertinggi adalah ketika panjang serabut kelapa sebesar 7.5 mm dimana panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai VIM yang berbeda dari taraf yang lain. Sedangkan panjang serabut kelapa 2.5 mm dan 7.5 mm menghasilkan nilai VIM yang sama.

Tabel 4.29 Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata		
6 1.00	15.35		
6 0.75	16.41		
5 0.75	17.97		
5 0.50	18.25		
4 1.00	18.25		
4 0.50	18.56		
6 0.50	19.00		
5 1.00	19.20		
4 0.75	19.35		

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.29, interaksi antara kadar aspal 4% dan kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan nilai VIM tertinggi. Namun kombinasi ini menghasilkan VIM yang dengan semua kombinasi kecuali kombinasi antara kadar aspal 6% dan kadar serabut kelapa 1%.

Tabel 4.30 Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata			
6 0.25	14.94			
6 0.50	16.43			
4 0.25	17.23			
5 0.50	17.27			
5 0.25	17.89			
4 0.75	19.11			
6 0.75	19.38			
4 0.50	19.82			
5 0.75	20.25			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.30, interaksi antara kombinasi kadar aspal 5% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai VIM tertinggi. Namun kombinasi ini menghasilkan VIM

yang dengan semua kombinasi kecuali kombinasi antara kadar aspal 6% dan panjang serabut kelapa 2.5 mm serta kadar aspal 5% dan panjang serabut kelapa 5 mm.

Tabel 4.31 Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Serabut Kelapa dengan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata			
0.75 2.5	16.05			
1.00 2.5	16.42			
0.75 5.0	16.47			
1.00 5.0	17.43			
0.50 2.5	17.60			
0.50 7.5	18.59			
1.00 7.5	18.95			
0.50 5.0	19.62			
0.75 7.5	21.21			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.31, interaksi antara kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai VIM tertinggi. Kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai VIM yang sama dengan kombinasi perlakuan kadar serabut kelapa 0.5% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm, kadar serabut kelapa 1% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm, serta kadar serabut kelapa 0.5% dan panjang serabut kelapa 5 mm.

Tabel 4.32 Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa, dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata								
6 1.00 0.25	13.30								
4 0.50 0.75	14.17								
6 0.75 0.50	14.56								
6 1.00 0.50	15.06								
4 0.75 0.25	15.56								
6 0.75 0.25	15.59								
6 0.50 0.25	15.93								
5 0.75 0.50	16.65								
4 1.00 0.25	16.80								
5 0.75 0.25	17.00								
5 0.50 0.50	17.01								
5 0.50 0.25	17.53								
6 1.00 0.75	17.68								
5 1.00 0.50	18.16								
4 0.75 0.50	18.20								
4 1.00 0.75	18.87								
6 0.75 0.75	19.08								
4 1.00 0.50	19.08								
5 1.00 0.25	19.15								
4 0.50 0.25	19.33								
6 0.50 0.50	19.67								
5 0.50 0.75	20.20								
5 0.75 0.75	20.25								
5 1.00 0.75	20.29								
6 0.50 0.75	21.39								
4 0.50 0.50	22.17								
4 0.75 0.75	24.30								

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.32, interaksi antara kadar aspal 4%, kadar serabut kelapa 0.5%, dan panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai VIM tertinggi. Kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai VIM yang sama dengan 11 kombinasi perlakuan yang lain yang dapat dilihat pada Tabel 4.32.

- b. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai *Flow* maka digunakan analisis anova tiga arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.33 sebagai berikut :

Tabel 4.33 Uji Pengaruh Antar Parameter untuk *Flow*

Analysis of Variance					
Variasi: Flow					
Sumber Variasi	d.f.	jumlah s.	Rata-rata s.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	0.8969	0.4485	1.58	0.215
Kadar Serabut Kelapa	2	0.6818	0.3409	1.20	0.309
Panjang Serabut Kelapa	2	3.7954	1.8977	6.69	0.003
Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	4	3.5045	0.8761	3.09	0.023
Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa	4	2.4743	0.6186	2.18	0.084
Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	4	2.5607	0.6402	2.26	0.075
Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	8	4.4562	0.5570	1.96	0.069
Residual	54	15.3275	0.2838		
Total	80	33.6972			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada tabel 4.33 dapat disimpulkan bahwa :

- Hipotesis pertama didapatkan nilai p sebesar 0.215 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai p sebesar 0.309 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai p sebesar 0.003 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing panjang serabut kelapa.

- Hipotesis keempat didapatkan nilai p sebesar 0.023 lebih kecil 0,05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal dan kadar serabut kelapa.
- Hipotesis kelima didapatkan nilai p sebesar 0.084 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis keenam didapatkan nilai p sebesar 0.075 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis ketujuh didapatkan nilai p sebesar 0.069 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.

Uji lanjut digunakan untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai *flow* yang berbeda, maka pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

Tabel 4.34 Uji Duncan *Flow* Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata	
5	2.421	
4	2.496	
6	2.672	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.34, kadar aspal 6% menghasilkan nilai *flow* tertinggi. Namun nilai *flow* pada perlakuan ini sama dengan kadar aspal yang lain.

Tabel 4.35 Uji Duncan *Flow* Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata	
1.00	2.408	
0.75	2.551	
0.50	2.629	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.35, kadar serabut kelapa 0.5% menghasilkan nilai *flow* tertinggi. Namun nilai *flow* pada perlakuan ini sama dengan kadar serabut kelapa yang lain.

Tabel 4.36 Uji Duncan *Flow* Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata	
7.5	2.276	
2.5	2.508	
5.0	2.805	

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.36, panjang serabut kelapa 5 mm menghasilkan nilai *flow* tertinggi dimana nilai *flow* pada perlakuan tersebut berbeda dengan panjang serabut kelapa yang lain.

Tabel 4.37 Uji Duncan *Flow* Interaksi Antara Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata		
5 0.75	2.176		
6 1.00	2.311		
4 0.75	2.381		
5 1.00	2.414		
4 1.00	2.498		
6 0.50	2.607		
4 0.50	2.609		
5 0.50	2.672		
6 0.75	3.098		

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.37, kombinasi perlakuan kadar aspal 6% dan kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan nilai *flow* tertinggi dimana kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai yang sama dengan kombinasi perlakuan kadar aspal 6% dan kadar serabut kelapa 0.5%, kadar aspal 4% dan kadar serabut kelapa 0.5%, serta kadar aspal 5% dan kadar serabut kelapa 0.5%.

Tabel 4.38 Uji Duncan *Flow* Interaksi Antara Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata			
5 0.75	2.068			
4 0.75	2.329			
6 0.25	2.379			
6 0.75	2.431			
5 0.25	2.483			
4 0.50	2.498			
4 0.25	2.661			
5 0.50	2.711			
6 0.50	3.206			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.38, kombinasi perlakuan kadar aspal 6% dan panjang serabut kelapa 5 mm menghasilkan nilai *flow* tertinggi dimana kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai *flow* yang sama dengan kombinasi perlakuan kadar aspal 5% dan panjang serabut kelapa 5 mm.

Tabel 4.39 Uji Duncan *Flow* Interaksi Antara Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata			
0.75 7.5	2.151			
1.00 7.5	2.196			
0.75 2.5	2.342			
1.00 2.5	2.411			
0.50 7.5	2.481			
1.00 5.0	2.617			
0.50 5.0	2.637			
0.50 2.5	2.770			
0.75 5.0	3.161			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.39, kombinasi perlakuan kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 5 mm menghasilkan nilai *flow* yang tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai *flow* yang sama dengan kombinsai perlakuan kadar serabut kelapa 1% dan panjang serabut kelapa 5 mm, kadar serabut kelapa 0.5% dan panjang serabut kelapa 5 mm, serta kadar serabut kelapa 0.5% dan panjang serabut kelapa 2.5 mm.

Tabel 4.40 Uji Duncan Interaksi *Flow* Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata			
5 0.75 0.75	1.693			
5 1.00 0.75	1.693			
6 1.00 0.25	2.167			
5 0.75 0.25	2.250			
4 0.50 0.75	2.267			
4 0.75 0.25	2.283			
4 0.75 0.75	2.293			
6 1.00 0.50	2.300			
6 0.50 0.75	2.360			
4 0.50 0.50	2.427			
4 1.00 0.75	2.427			
6 0.75 0.75	2.467			
6 1.00 0.75	2.467			
6 0.50 0.25	2.477			
6 0.75 0.25	2.493			
5 0.50 0.50	2.500			
5 1.00 0.25	2.500			
4 1.00 0.50	2.500			
4 0.75 0.50	2.567			
4 1.00 0.25	2.567			
5 0.75 0.50	2.583			
5 0.50 0.25	2.700			
5 0.50 0.75	2.817			
6 0.50 0.50	2.983			
5 1.00 0.50	3.050			
4 0.50 0.25	3.133			
6 0.75 0.50	4.333			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.40, kombinasi perlakuan kadar aspal 6%, kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 5 mm menghasilkan nilai *flow* tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai *flow* yang berbeda dengan kombinasi perlakuan yang lain.

- c. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai Stabilitas maka digunakan analisis anova tiga arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.41 sebagai berikut :

Tabel 4.41 Uji Pengaruh Antar Parameter untuk Stabilitas

Analysis of Variance					
Variasi : Stabilitas					
Sumber Variasi	d.f.	jumlah	s.rata-rata.s.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	104982.	52491.	8.06	<.001
Kadar Serabut Kelapa	2	131096.	65548.	10.07	<.001
Panjang Serabut Kelapa	2	21765.	10882.	1.67	0.197
Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	4	38092.	9523.	1.46	0.226
Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa	4	62682.	15671.	2.41	0.061
Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	4	195876.	48969.	7.52	<.001
Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	8	140383.	17548.	2.70	0.014
Residual	54	351488.	6509.		
Total	80	1046364.			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada tabel 4.41 dapat disimpulkan bahwa :

- Hipotesis pertama didapatkan nilai p sebesar 0.001 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai p sebesar 0.001 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai p sebesar 0.197 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing panjang serabut kelapa.

- Hipotesis keempat didapatkan nilai p sebesar 0.226 lebih besar 0,05 (a), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal dan kadar serabut kelapa.
- Hipotesis kelima didapatkan nilai p sebesar 0.061 lebih besar 0.05 (a), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis keenam didapatkan nilai p sebesar 0.001 lebih kecil 0.05 (a), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis ketujuh didapatkan nilai p sebesar 0.014 lebih kecil 0.05 (a), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada interaksi antara kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.

Uji lanjut digunakan untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai stabilitas yang berbeda, maka pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

Tabel 4.42 Uji Duncan Stabilitas Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata
6	472.9
5	520.7
4	561.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.42, kadar aspal 4% menghasilkan stabilitas tertinggi dimana kadar aspal 4% menghasilkan stabilitas yang sama dengan kadar aspal 5% tetapi berbeda dengan kadar aspal 6%.

Tabel 4.43 Uji Duncan Stabilitas Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
0.50	464.1
1.00	530.0
0.75	560.5

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.43, kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan stabilitas tertinggi dimana kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan stabilitas yang sama dengan kadar serabut kelapa 1% tetapi berbeda dengan kadar serabut kelapa 0.5%.

Tabel 4.44 Uji Duncan Stabilitas Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata	
7.5	500.2	
2.5	514.6	
5.0	539.8	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.44, panjang serabut kelapa 2.5 mm menghasilkan stabilitas tertinggi namun hasil tersebut sama dengan panjang serabut kelapa pada taraf yang lain.

Tabel 4.45 Uji Duncan Stabilitas Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata						
6 0.50	415.3						
5 0.50	477.9						
6 0.75	482.2						
4 0.50	499.1						
5 1.00	500.7						
6 1.00	521.3						
4 1.00	568.2						
5 0.75	583.5						
4 0.75	615.7						

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.45, kombinasi perlakuan kadar aspal 4% dan kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan stabilitas tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan stabilitas yang sama dan nilainya diatas 500 adalah kombinasi perlakuan kadar aspal 4% dan kadar serabut kelapa 1% serta kadar aspal 5% dan kadar serabut kelapa 0.75%.

Tabel 4.46 Uji Duncan Stabilitas Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata			
5 7.5	450.9			
6 2.5	458.2			
6 7.5	479.5			
6 5.0	481.1			
5 2.5	527.1			
4 5.0	554.4			
4 2.5	558.5			
4 7.5	570.1			
5 5.0	584.1			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.46, kombinasi perlakuan kadar aspal 5% dan panjang serabut kelapa 0.5% menghasilkan stabilitas tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan stabilitas yang sama dan nilainya diatas 500 adalah kombinasi perlakuan kadar aspal 5% dan panjang serabut kelapa 2.5 mm, kadar aspal 4% dan panjang serabut kelapa 5 mm, kadar aspal 4% dan panjang serabut kelapa 2.5 mm, serta kadar aspal 4% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm.

Berdasarkan Tabel 4.48, kombinasi perlakuan kadar aspal 4%, kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 2.5 mm menghasilkan stabilitas tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai stabilitas yang sama dan nilainya diatas 500 terdapat 17 kombinasi perlakuan.

- d. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai MQ maka digunakan analisis anova tiga arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.49, sebagai berikut :

Tabel 4.49 Uji Pengaruh Antar Parameter untuk MQ

Analysis of Variance					
Variasi : MQ					
Sumber Variasi	d.f.	jumlah s.	rata-rata s.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	39344.	19672.	6.62	0.003
Kadar Serabut Kelapa	2	46475.	23238.	7.83	0.001
Panjang Serabut Kelapa	2	10472.	5236.	1.76	0.181
Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	4	34974.	8743.	2.94	0.028
Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa	4	7389.	1847.	0.62	0.649
Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	4	48260.	12065.	4.06	0.006
Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	8	66977.	8372.	2.82	0.011
Residual	54	160359.	2970.		
Total	80	414249.			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada tabel 4.49 dapat disimpulkan bahwa :

- Hipotesis pertama didapatkan nilai p sebesar 0.003 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai p sebesar 0.001 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai p sebesar 0.181 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada masing-masing panjang serabut kelapa.

- Hipotesis keempat didapatkan nilai p sebesar 0.028 lebih kecil 0,05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada interaksi antara kadar aspal dan kadar serabut kelapa.
- Hipotesis kelima didapatkan nilai p sebesar 0.649 lebih besar 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah tolak H_0 yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada interaksi antara kadar aspal dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis keenam didapatkan nilai p sebesar 0.005 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada interaksi antara kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.
- Hipotesis ketujuh didapatkan nilai p sebesar 0.011 lebih kecil 0.05 (α), maka keputusan yang diambil adalah terima H_0 yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada interaksi antara kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa.

Uji lanjut digunakan untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai MQ yang berbeda, maka pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

Tabel 4.50 Uji Duncan MQ Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata
6	186.2
4	232.8
5	233.1

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.50, kadar aspal 5% menghasilkan nilai MQ tertinggi dimana pada perlakuan tersebut menghasilkan nilai MQ yang sama dengan kadar aspal 4% tetapi berbeda dengan kadar aspal 6%.

Tabel 4.51 Uji Duncan MQ Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
0.50	183.6
1.00	232.0
0.75	236.5

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.51, kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan nilai MQ tertinggi dimana pada perlakuan tersebut menghasilkan nilai MQ yang sama dengan kadar serabut kelapa 1% tetapi berbeda dengan kadar serabut kelapa 0.5%.

Tabel 4.52 Uji Duncan MQ Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata	
0.50	206.3	
0.25	212.9	
0.75	233.0	

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.52, tidak ada perbedaan nilai MQ pada semua taraf panjang serabut kelapa.

Tabel 4.53 Uji Duncan Interaksi MQ Antara Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata		
6 0.50	164.4		
6 0.75	166.7		
5 0.50	183.0		
4 0.50	203.5		
6 1.00	227.6		
4 1.00	232.1		
5 1.00	236.4		
4 0.75	262.9		
5 0.75	279.9		

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.53, kombinasi perlakuan kadar aspal 5% dan kadar serabut kelapa 0.75% menghasilkan nilai MQ tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai MQ yang sama dengan kombinasi perlakuan kadar aspal 6% dan kadar serabut kelapa 1%, kadar aspal 4% dan kadar serabut kelapa 1%, kadar aspal 5% dan kadar serabut kelapa 1%, serta kadar aspal 4% dan kadar serabut kelapa 0.75%.

Tabel 4.54 Uji Duncan Interaksi MQ Antara Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata		
6 0.50	161.7		
6 0.75	198.2		
6 0.25	198.7		
5 0.25	216.6		
4 0.25	223.4		
5 0.50	226.4		
4 0.50	230.7		
4 0.75	244.5		
5 0.75	256.3		

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.54, kombinasi perlakuan kadar aspal 5% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai MQ tertinggi dimana pada kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai MQ yang sama dengan semua kombinasi perlakuan kadar aspal dengan panjang serabut kelapa kecuali kombinasi perlakuan kadar aspal 6% dan panjang serabut kelapa 5 mm.

Tabel 4.55 Uji Duncan Interaksi MQ Antara Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata					
0.50 0.75	158.9					
0.50 0.50	181.3					
1.00 0.25	191.3					
0.75 0.50	206.9					
0.50 0.25	210.6					
1.00 0.50	230.5					
0.75 0.25	236.8					
0.75 0.75	265.8					
1.00 0.75	274.2					

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.55, kombinasi perlakuan kadar serabut kelapa 1% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai MQ tertinggi, dimana kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai MQ yang sama dengan kombinasi perlakuan kadar serabut kelapa 1% dan panjang serabut kelapa 5 mm, kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 2.5 mm, serta kadar serabut kelapa 0.75% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm.

Tabel 4.56 Uji Duncan Interaksi MQ Antara Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata								
5 0.50 0.75	112.0								
6 0.50 0.50	125.3								
6 0.75 0.50	130.0								
6 0.50 0.75	141.0								
6 0.75 0.25	143.3								
5 1.00 0.25	162.0								
4 1.00 0.25	185.8								
4 0.50 0.50	188.3								
4 0.50 0.25	198.5								
5 1.00 0.50	204.5								
5 0.50 0.25	206.5								
4 0.50 0.75	223.7								
6 1.00 0.25	226.1								
6 1.00 0.75	226.7								
6 0.50 0.25	226.8								
6 0.75 0.75	226.9								
6 1.00 0.50	229.9								
5 0.50 0.50	230.4								
5 0.75 0.50	244.1								
4 0.75 0.50	246.5								
4 1.00 0.75	253.4								
4 0.75 0.75	256.3								
4 1.00 0.50	257.2								
5 0.75 0.25	281.3								
4 0.75 0.25	285.9								
5 0.75 0.75	314.3								
5 1.00 0.75	342.6								

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.56, kombinasi perlakuan kadar aspal 5%, kadar serabut kelapa 1% dan panjang serabut kelapa 7.5 mm menghasilkan nilai MQ tertinggi, dimana kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan nilai MQ yang sama dengan 8 kombinasi perlakuan yang lain seperti yang terlihat pada Tabel 4.56.

Dari analisis statistik yang telah dilakukan menggunakan ANOVA Tiga Arah maka didapat pengaruh maupun tidak pengaruh dari nilai VIM, *flow*, stabilitas dan MQ dengan pembandingan kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa. Bila memiliki pengaruh diberi tanda check (√), apabila tidak memiliki pengaruh diberi tanda (-). Hasil rekapitulasi ANOVA Tiga Arah dapat dilihat pada Tabel 4.57 sebagai berikut :

Tabel 4.57 Rekapitulasi Analisis Statistik ANOVA Tiga Arah

Pembandingan	Variabel Tetap			
	VIM	<i>Flow</i>	Stabilitas	MQ
Kadar Aspal	-	-	√	√
Proporsi Kadar Serabut Kelapa	-	-	√	√
Proporsi Panjang Serabut Kelapa	√	√	-	√
Interaksi Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	-	√	-	-
Interaksi Kadar Aspal dan Panjang Serabut Kelapa	-	√	-	√
Interaksi Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	-	-	√	√
Interaksi Kadar Aspal, Kadar Serabut Kelapa dan Panjang Serabut Kelapa	-	-	√	√

Sumber : Hasil Rekapitulasi

Catatan:

1. Tanda centang (√) artinya memiliki pengaruh terhadap karakteristik aspal porus.
2. Tanda strip (-) artinya tidak memiliki pengaruh terhadap karakteristik aspal porus.

4.5 Pembahasan

Komposisi campuran antara agregat kasar dengan agregat halus untuk campuran aspal porus akan mempengaruhi karakteristik pada campuran aspal tersebut. Dikarenakan konsep dasar untuk campuran aspal porus merupakan meminimalisir penggunaan agregat

halus yang menghasilkan rongga di dalam lapisan perkerasan tersebut untuk mengalirkan air diatas permukaan untuk jalan ke tanah. Untuk penelitian ini menggunakan gradasi Australia, dimana di Indonesia belum memiliki aturan baku tentang standar-standar campuran perkerasan aspal porous.

Tabel 4.58 Rekapitulasi Hasil Karakteristik *Marshall*

Kadar Aspal	Panjang Serabut kelapa	Kadar Serabut Kelapa	VIM	Stabilitas	Flow	MQ
4%	5 mm	0,75%	18,39%	624,92 kg	2,79 mm	240,85 kg/mm
Persyaratan AAPA			18% - 25%	> 500 kg	2-6 mm	<400 kg/mm

4.5.1 Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik *Marshall*

a. Rongga udara dalam campuran (VIM)

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian nilai VIM memenuhi syarat yang ditetapkan AAPA. Nilai VIM mengalami penurunan sebesar 10,184% dari nilai awal 20,27% tanpa menggunakan serabut kelapa, menjadi 18,3965% dengan menggunakan serabut kelapa.

b. Stabilitas

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian Stabilitas mengalami peningkatan sebesar 60,927% dari nilai awal 388,32 kg tanpa menggunakan serabut kelapa, menjadi 624,913 kg dengan menggunakan serabut kelapa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serabut kelapa mempengaruhi peningkatan nilai stabilitas. Standar nilai stabilitas yang ditetapkan AAPA adalah minimal 500 kg. Penambahan serabut kelapa terbukti meningkatkan nilai stabilitas sehingga dapat memenuhi standar yang ditetapkan AAPA. Pengaruh peningkatan nilai stabilitas ini disebabkan oleh bentuknya yang berupa serat sehingga berfungsi sebagai pengikat untuk menghindari pemisahan antar agregat

c. Kelelehan (*Flow*)

Flow mengalami penurunan sebesar 15,96% dari nilai awal 3,24 mm tanpa menggunakan serabut kelapa, menjadi 2,794 mm dengan menggunakan serabut kelapa.

Dalam standar AAPA nilai *flow* yang disyaratkan antara 2 mm – 6 mm. Sehingga hasil diatas masih masuk persyaratan yang ditetapkan AAPA.

d. *Marshall Quotient* (MQ)

MQ merupakan nilai perbandingan antara stabilitas dengan *flow*. MQ yang diperoleh dari penelitian mengalami peningkatan sebesar 114% dari nilai awal 112,56 kg/mm tanpa menggunakan serabut kelapa menjadi 240,846 kg/mm dengan serabut kelapa. Dalam AAPA standar untuk nilai MQ adalah dibawah 400 kg/mm. Sehingga hasil diatas memenuhi standar yang ditetapkan AAPA.

e. Kadar Aspal Optimum, Panjang Serabut Kelapa Optimum dan Kadar Serabut Kelapa Optimum

Dari analisis menggunakan metode diperoleh Kadar Aspal Optimum sebesar 4 %, panjang serabut kelapa optimum 5 mm dan kadar serabut kelapa optimum 0,75% sebab nilai Stabilitas yang paling optimum terdapat pada kadar tersebut.

4.6 Permeabilitas

Dalam penelitian ini selain dilakukan pengujian karakteristik *Marshall*, dilakukan pula uji kemampuan permeabilitas. Pengujian kemampuan permeabilitas ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan campuran aspal porus dalam mengalirkan air hujan kedalam tanah tanpa menyebabkan genangan pada permukaan perkerasan. Sesuai dengan filosofi aspal porus sendiri yaitu perkerasan yang mampu mengalirkan air ke tanah yang sangat cocok digunakan di daerah dengan curah hujan tinggi. Pengujian permeabilitas dalam penelitian ini menggunakan metode “*Falling Head*”. Variabel yang mempengaruhi kecepatan permeabilitas antara lain tinggi benda uji, beda tekan aliran air, dan luas penampang.

Dari hasil penelitian didapatkan kecepatan infiltrasi semua benda uji memiliki nilai >0,1cm/detik yang merupakan persyaratan standar Australia dalam kecepatan infiltrasi pada aspal porus. Maka dapat dinyatakan hasil pengujian sudah memenuhi syarat tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Nilai proporsi campuran kadar aspal, kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa optimum adalah 4% aspal, 0,75% kadar serabut kelapa dan 5 mm panjang serabut kelapa.
- b. Penggunaan serabut kelapa pada aspal porus standar Australia mempengaruhi karakteristik *Marshall* nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan Stabilitas seperti penjelasan di bawah ini :
 - Nilai MQ meningkat 114% dari nilai MQ benda uji tanpa menggunakan serabut kelapa sebesar 112,56 kg/mm menjadi 240,846 kg/mm setelah menggunakan serabut kelapa.
 - Penggunaan serabut kelapa dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 60,927%. Dari nilai stabilitas benda uji sebesar 388,32 kg menjadi 624,913 kg setelah menggunakan serabut kelapa.
- c. Berdasarkan hasil *ANOVA* tiga arah, terdapat pengaruh interaksi dari kadar aspal, panjang serabut kelapa dan kadar serabut kelapa terhadap nilai stabilitas dan *Marshall Quotient*, tetapi tidak berpengaruh terhadap nilai VIM dan *flow*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan penelitian ini antara lain :

1. Perlu dilakukan pengujian di lapangan untuk mendapatkan hasil yang realistis.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi material dengan standar gradasi lain, karena gradasi Australia ini masih banyak menggunakan agregat halus dan *filler* dalam komposisi campuran.

3. Perlu penelitian lebih lanjut dengan penggunaan material atau penambahan *additive* lain yang dapat meningkatkan stabilitas dan VIM.
4. Perlu pemeriksaan alat yang digunakan agar benda uji yang dihasilkan lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1976. “Manual Pemeriksaan Bahan”. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
Bina Marga.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. *National Asphalt Specification*.
- Avista, C.D. dan Astiputri, R.D. 2016. *Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Jati terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Porus*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi.
- Basuki, Rachmad dan Machsus. 2007. Penambahan Gilsonite Resin pada Aspal Prima 55 untuk meningkatkan Kualitas Perkerasan Hotmix. *Jurnal Aplikasi*. 3, (1), 16 – 27.
- Bina Marga. 2006. Spesifikasi Umum Campuran Berbutir Panas.
- Bruce. K.F. 2005. Porous Pavement. CRC PRESS. United States of America
- Colia, R. 2013. *Penggunaan Limbah Sabut Kelapa untuk Ketahanan Campuran Aspal Beton terhadap Deformasi Alur*. Depok : Universitas Indonesia. Skripsi.
- Krebs, R.D dan Walker, R.D. 1971. *Highway Materials*. McGraw-Hill Book Company. New York, USA.
- Hadiwardoyo, S.P. 2013. “*Evaluation of the Addition of Short Coconut Fibers on the Characteristics of Asphalt Mixtures*”. Universitas Indonesia.
- Ramadhan,N dan Burhan, R.R. 2014. *Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite HMA Modifield Grade Terhadap Kinerja Aspal Porus*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi.
- Sarwono, D dan Astuti K. W . 2007. “Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran *Porous Asphalt*”. Media Teknik Sipil.
- Setyawan. A dan Sanusi. 2008. “Observasi Properties Aspal Porus Berbagai Gradasi Dengan Material Lokal”. Media Teknik Sipil.
- Sujono. E. R. 2012. “Pengaruh Daya Dukung dan Permeabilitas Akibat Variasi Gradasi Agregat Lapisan Pondasi Porous Pavement”. Malang.

- Susanto.A dan Sukma, P.R. 2016. *Pengaruh Limbah Beton dan Marmer Pada Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Gilsonite*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi.
- Suprpto, T.M. 2004. *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*. Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- The Asphalt Institute. 1984. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot Mix Types*, Manual Series No 2 (MS-2). 1 st Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- Yamin. M. 2001. “Modifikasi Marshall Dalam Perencanaan Campuran Porus Aspal Untuk Cement Treated Asphalt Mixture (CTAM)”. Bali

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Karakteristik Agregat

1.1 Uji Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan

Tabel Uji Kekuatan Agregat Batu Pecah terhadap Tumbukan

No.	Pengamatan	Berat (gr)	
1	Berat sampel (A)	343,1	339,3
2	Berat Sampel setelah penekanan dan lolos saringan 2,36mm (B)	21,9	24,1
3	Berat Sampel setelah penekanan dan tertahan saringan 2,36mm (C)	321,2	315,2
4	Aggregate Impact Value (B/A*100%)	6,38%	7,1%
	Rata-rata	6,74%	

Sumber : Hasil Penelitian

1.2 Uji Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

Tabel Uji Keausan Agregat Batu Pecah dengan Mesin *Los Angeles*

No.	Pengamatan	Hasil		
			1	2
1	Berat Sampel Awal	A	5000 gr	5000 gr
2	Berat Tertahan Saringan no. 12	C	4286,6 gr	4227,3 gr
3	Keausan	$((A-B)/A)*100\%$	14,27%	15,45%
		Rata-rata	14,86 < 40	

Sumber : Hasil Penelitian

1.3 Uji Kepipihan dan Kelonjongan

Tabel Uji Kepipihan dan Kelonjongan Agregat Batu Pecah

Ukuran Saringan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Lolos Kepipihan (gram)	Tertahan Kelonjongan (gram)
1	-	-	-	-
3/4	-	-	-	-
1/2	547,5	11,31	256,2	80,2
3/8	2457,6	50,77	619,8	297,4
4	1835,1	37,91	430,7	389,1
MI =	4840,2	M2 =	4840,2	
		M3F =	1306,7	
			M3E =	766,7
Indeks Kepipihan (%)		M3F/M2 =	0,27	
Indeks Kelonjongan (%)		M3E/M2 =	0,16	

Sumber : Hasil Penelitian

1.4 Uji Berat Jenis Agregat Kasar

Tabel Berat Sampel Agregat Kasar Batu Pecah

No.	Kegiatan	Sampel	
		1 (gram)	2 (gram)
1	Berat sampel kering oven (Bk)	4946,1	4955
2	Berat sampel SSD (Bj)	4995,7	5023,9
3	Berat sampel dalam air (Ba)	3186	3191

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar Batu Pecah



No.	Perhitungan		Sampel		Rata-Rata
			1 (gram)	2 (gram)	
1	BJ bulk	Bk/(Bj-Ba)	2,733	2,703	2,718
2	BJ SSD	Bj/(Bj-Ba)	2,761	2,741	2,751
3	BJ semu	Bk/(Bk-Ba)	2,81	2,809	2,809
4	Penyerapan	(Bj-Bk)/Bk x 100%	1,003	1,391	1,197

Sumber : Hasil Penelitian

Lampiran 2. Pengujian Karakteristik Aspal

2.1 Uji Berat Jenis Aspal

Tabel. Perhitungan Berat Jenis Aspal

No	Keterangan	 (gram)	 (gram)
1	Berat Piknometer+air (gr)	59,7	65,0
2	Berat Piknometer (gr)	37,9	41,2
3	Berat piknometer+contoh	54,2	58,5
4	Berat piknometer+air+contoh	60,2	65,6
5	Berat Air	21,8	23,8
6	Berat sampel	16,3	17,3
7	Berat sampel + air	22,3	24,4
8	Isi berat	6	7,1
9	Isi sampel	15,8	16,7
	Berat Sampel / Isi Sampel	1,032	1,036
	Rata – rata	1,034 > 1	

Sumber : Hasil Penelitian

2.2 Uji Penetrasi Aspal

Tabel Hasil Uji Penetrasi Aspal

No.	Penetrasi pada suhu 25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik	Nilai		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	Pengamat 1	63	65	66
2	Pengamat 2	66	67	70
3	Pengamat 3	66	68	68
	Rata-Rata	65	66,67	68
	Rata-Rata Total	66,56		

Sumber : Hasil Penelitian

2.3 Uji Daktilitas Aspal

Tabel Hasil Uji Daktilitas Aspal

Uraian	Pembacaan Pengukuran Pada Alat
Pengamatan 1	>1500
Pengamatan 2	>1500
Pengamatan 3	>1500

Sumber : Hasil Penelitian

2.4 Uji Titik Lembek Aspal

Tabel Hasil Uji Titik Lembek Aspal

no	Suhu Pengamatan (°C)	Waktu	Titik Lembak
1	5	0'	
2	10	3'17"	
3	15	7'44"	
4	20	9'37"	
5	25	11'56"	
6	30	13'49"	
7	35	15'52"	
8	40	18'30"	
9	45	20'28"	
10	48,5	22'15"	Titik Lembek 1
11	49	25'30"	Titik Lembek 2

Sumber : Hasil Penelitian

2.5 Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Tabel Hasil Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

No	Waktu (menit)	Suhu Pengamatan (°C)	Pengamatan (°C)	
			Titik Nyala	Titik Bakar
1	0	26		
2	1	26		
3	2	26		
4	3	26		
5	4	26		
6	5	26		
7	6	28		
8	7	29		
9	8	31		
10	9	34		
11	10	38		
12	11	42		
13	12	50		
14	13	62		
15	14	88		
16	15	110		
17	16	170		
18	17	182		

19	18	196		
20	19	210		
21	20	226		
22	21	236		
23	22	248		
24	23	258		
25	24	270		
26	25	278		
27	26	290		
28	27	298		
29	28	308		
30	29	320		
31	29,5	320	320°C	
32	30	324		
33	31	340		
	31,33	345		345°C

Sumber : Hasil Penelitian

Lampiran 3. Pengujian Marshall (Stabilitas, Flow MQ, VIM dan VMA)

3.1 Perhitungan *Marshall Standart Test*

Perhitungan analisa *Marshall* kadar batu pecah dan Limbah beton 0/110. Untuk campuran proporsi batu pecah dan limbah beton 0/100 benda uji berjumlah 20 buah. Sebagai contoh perhitungan akan dijelaskan hanya 1 benda uji saja, karena yang lainnya mengikuti. Namun keseluruhan hasil perhitungan benda uji akan ditampilkan.

Kadar Aspal	= 4 %
Berat Jenis Aspal	= 1,034 %
Kalibrasi	= 11,739 Kg/Dif
Berat Total Agregat	= 900 gram
Berat Kering	= 919,9 gram
Berat SSD	= 954,1 gram
Berat Dalam Air	= 540 gram
Diameter Benda Uji	= 10,36 cm
Tinggi Benda Uji	= 6,075 cm
Stabilitas	= 50 Lb/Dif
<i>Flow</i>	= 275

- Perhitungan Kadar Aspal Terhadap Campuran

Berat aspal	= 5 % x Berat total Agregat
	= 4 % x 900 gr
	= 36 gr

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total campuran} &= \text{Berat total agregat} + \text{Berat aspal} \\
 &= 900 \text{ gr} + 36 \text{ gr} \\
 &= 936 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase aspal terhadap campuran} &= \frac{\text{Berat Aspal} \times 100 \%}{\text{Berat Total Campuran}} \\
 &= \frac{36 \times 100 \%}{936} \\
 &= 3,846 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase agregat terhadap berat campuran} &= \frac{\text{Berat total agregat} \times 100 \%}{\text{Berat Total Campuran}} \\
 &= \frac{900 \times 100 \%}{936} \\
 &= 96,154 \%
 \end{aligned}$$

- Volume Material $= \text{Berat kering} - \text{Berat dalam air}$
 $= 919,9 \text{ gr} - 540 \text{ gr}$
 $= 379,9 \text{ gr}$

- Volume Benda Uji $= (\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2) \times h$
 $= (\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10,36^2) \times 6,075$
 $= 511,841 \text{ ml}$

- Berat Isi $= \frac{\text{Berat Kering} \times 100 \%}{\text{Volume Benda Uji}}$
 $= \frac{919,9}{511,841}$
 $= 1,797 \text{ gr/ml}$

- Berat Jenis $= \frac{\text{Berat SSD}}{\text{Volume Material}}$
 $= \frac{954,1}{379,9}$
 $= 2,477 \text{ gr/ml}$

- Berat Jenis Agregat $= \frac{\frac{100}{\text{Berat Jenis}} \times \frac{\% \text{ Agregat}}{\text{Kadar Aspal tdhp Campuran}}}{\frac{100}{\text{Berat Jenis Aspal}}}$
 $= \frac{\frac{100}{2,477} \times \frac{96,154}{3,846}}{\frac{100}{1,034}}$
 $= 2,615 \text{ gr/ml}$

- Volume Aspal $= \frac{\text{Kadar Aspal thdp Campuran} \times \text{Berat Isi}}{\text{Berat jenis Aspal}}$

$$= \frac{3,846 \times 1,797}{1,034}$$

$$= 6,46 \%$$
- Volume Agregat $= \frac{(100 - \text{Kadar Aspal thdp Campuran}) \times \text{Berat Isi}}{\text{Berat jenis Agregat}}$

$$= \frac{(100 - 3,846) \times 1,797}{2,615}$$

$$= 66,608 \%$$
- VMA $= 100 \% - \text{Volume Agregat}$

$$= 100 \% - 66,608 \%$$

$$= 33,918 \%$$
- VFB $= 100 \times \frac{\text{Volume Aspal}}{\text{VMA}}$

$$= 100 \times \frac{6,46}{33,916}$$

$$= 19,047 \%$$
- VIM $= 100 - \left(100 \times \frac{\text{Berat Isi}}{\text{Berat Jenis}} \right)$

$$= 100 - \left(100 \times \frac{1,797}{2,477} \right)$$

$$= 27,457 \%$$
- Stabilitas $= \text{Angka Pembacaan} \times \text{Kalibrasi} \times \text{Angka Korelasi}$

$$= 50 \times 11,739 \times 1,076$$

$$= 570,350 \text{ Kg}$$
- MQ $= \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$

$$= \frac{570,35}{2,75}$$

$$= 229,642 \text{ Kg/mm}$$

- Angka Koreksi

Volume benda uji (cm ³)	Tinggi benda uji (mm)	Faktor koreksi
368 – 379	46	1,79
380 – 392	47,6	1,67
393 – 405	49,2	1,56
406 – 420	50,8	1,47
421 – 431	52,4	1,39
432 – 443	54	1,32
444 – 456	55,6	1,25
457 – 470	57,2	1,19
471 – 482	58,7	1,14
483 – 495	60,3	1,09
496 – 508	61,9	1,04
509 – 522	63,5	1
523 – 535	65,1	0,96
536 – 546	66,7	0,93
547 – 559	68,3	0,89
560 – 573	69,8	0,86
574 – 585	71,4	0,83
586 – 598	73	0,81
599 – 610	74,6	0,78
611 – 625	76,2	0,76

- Perhitungan Angka Koreksi

Tebal Benda Uji = 60,75 mm

Interpolasi yang digunakan sebagai berikut :

60,3	1,09
60,75	x
61,9	1,04

$$\text{Maka : } x = 1 + \frac{1-1,09}{61,9-60,3} \times (60,75 - 61,9)$$

$$x = 1,076$$

3.2 Perhitungan Hasil Pengujian *Marshall Standart Test* Variasi Kadar Aspal, Panjang Serabut Kelapa dan Kadar Serabut Kelapa

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,5%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
7,5 mm	0,5%	4%	B	102,15	60,255	932,3	923,3	533	31	235	151	1	8
			D	102,2	58,35	973,7	956,9	554	36	205	151	1	10
			E	102,6	53,25	936,3	964,5	544	40	240	151	1	15
		5%	F	102,6	59,2	947	934,9	536	21	305	151	1	11
			G	103,26	60,2	941,8	952,9	538	32	310	151	1	15
			I	102,4	64	949,2	957,9	550	23	230	151	1	9
		6%	M	102,1	59,6	948	958,7	553	24	255	151	1	10
			N	102,25	61,75	944,6	955,9	547	25	208	151	1	8
			O	103,7	63,7	920	956,2	544	30	305	151	1	8

No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	932,300	923,300	533	399,300	493,559	1,889	2,312	2,425	6,790	74,901
2	3,846	96,154	973,700	956,900	554	419,700	478,423	2,035	2,280	2,388	7,316	81,950
3	3,846	96,154	936,300	964,500	544	392,300	440,032	2,128	2,459	2,593	7,648	78,898
1	4,762	95,238	947,000	934,900	536	411,000	489,200	1,936	2,275	2,410	8,615	76,487
2	4,762	95,238	941,800	952,900	538	403,800	503,884	1,869	2,360	2,511	8,318	70,886
3	4,762	95,238	949,200	957,900	550	399,200	526,805	1,802	2,400	2,559	8,019	67,071
1	5,660	94,340	948,000	958,700	553	395,000	487,716	1,944	2,427	2,627	10,283	69,803
2	5,660	94,340	944,600	955,900	547	397,600	506,796	1,864	2,404	2,599	9,860	67,666
3	5,660	94,340	920,000	956,200	544	376,000	537,733	1,711	2,543	2,772	9,051	58,225

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	k	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
25,099	27,052	18,309	31	1,091	397,169	2,350	60,255	169,008	0,234	24,894	81,953	476,766
18,050	40,530	10,734	36	1,152	486,695	2,050	58,350	237,412	0,181	25,707	82,034	381,413
21,102	36,244	13,454	40	1,353	635,222	2,400	53,250	264,676	0,109	28,169	82,677	254,275
23,513	36,640	14,898	21	1,124	277,178	3,050	59,200	90,878	0,166	25,338	82,677	346,739
29,114	28,571	20,796	32	1,093	410,627	3,100	60,200	132,460	0,122	24,917	83,744	254,275
32,929	24,351	24,911	23	0,960	259,195	2,300	64,000	112,694	0,220	23,438	82,355	423,792
30,197	34,052	19,914	24	1,112	313,253	2,550	59,600	122,844	0,185	25,168	81,873	381,413
32,334	30,494	22,474	25	1,045	306,587	2,080	61,750	147,398	0,239	24,291	82,114	476,766
41,775	21,666	32,724	30	0,984	346,533	3,050	63,700	113,617	0,240	23,548	84,459	476,766

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
7,5 mm	0,75%	4%	R	102,55	58	928,2	946	547	33	203	151	1	8
			S	103,6	60,75	919,9	941,2	540	50	275	151	1	8
			T	103	60,25	932,5	954,1	540	52	210	151	1	10
		5%	U	101,2	63	945,4	950,6	540	42	190	151	1	9
			W	102,75	62,1	950,1	948,1	540	39	110	151	1	13
			Y	103	60,6	948,3	951,9	544	41	208	151	1	9
		6%	AA	102,6	58,8	926,5	972,6	555	40	280	151	1	13
			AD	102,6	57,7	942,6	967,9	548	39	225	151	1	7
			AE	101,9	58,6	962,2	956,5	538	44	235	151	1	10

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	928,200	946,000	547	381,200	478,816	1,939	2,482	2,620	6,968	71,147
2	3,846	96,154	919,900	941,200	540	379,900	511,841	1,797	2,477	2,615	6,460	66,082
3	3,846	96,154	932,500	954,100	540	392,500	501,766	1,858	2,431	2,561	6,680	69,773
1	4,762	95,238	945,400	950,600	540	405,400	506,490	1,867	2,345	2,493	8,307	71,296
2	4,762	95,238	950,100	948,100	540	410,100	514,665	1,846	2,312	2,454	8,216	71,635
3	4,762	95,238	948,300	951,900	544	404,300	504,681	1,879	2,354	2,505	8,362	71,445
1	5,660	94,340	926,500	972,600	555	371,500	485,894	1,907	2,618	2,867	10,087	62,746
2	5,660	94,340	942,600	967,900	548	394,600	476,804	1,977	2,453	2,659	10,458	70,138
3	5,660	94,340	962,200	956,500	538	424,200	477,656	2,014	2,255	2,415	10,656	78,681

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	k	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
28,853	24,150	21,885	33	1,163	450,657	2,030	58,000	221,998	0,223	25,862	82,596	476,766
33,918	19,047	27,457	50	1,076	631,517	2,750	60,750	229,642	0,229	24,691	84,296	476,766
30,227	22,100	23,547	52	1,092	666,315	2,100	60,250	317,293	0,184	24,896	83,323	381,413
28,704	28,940	20,397	42	1,013	499,197	1,900	63,000	262,735	0,221	23,810	80,436	423,792
28,365	28,964	20,149	39	1,034	473,269	1,100	62,100	430,244	0,146	24,155	82,919	293,394
28,555	29,285	20,193	41	1,081	520,100	2,080	60,600	250,048	0,205	24,752	83,323	423,792
37,254	27,076	27,167	40	1,137	533,827	2,800	58,800	190,652	0,139	25,510	82,677	293,394
29,862	35,021	19,404	39	1,173	537,172	2,250	57,700	238,743	0,254	25,997	82,677	544,875
21,319	49,987	10,662	44	1,143	590,438	2,350	58,600	251,250	0,183	25,597	81,553	381,413

Tabel. Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
7,5 mm	1%	4%	BC	102,75	59,25	955,5	946	547	33	203	151	1	8
			BD	102,25	57,25	928,5	941,2	540	50	275	151	1	8
			BE	102,25	57	918,2	954,1	540	52	250	151	1	10
		5%	CA	102,1	60	942,2	950,6	540	42	190	151	1	12
			CC	102,6	58,5	925,5	948,1	540	39	110	151	1	8
			CE	102,5	58,5	936,7	951,9	544	41	208	151	1	9
		6%	DA	102,2	59	951	972,6	555	40	280	151	1	10
			DD	102,7	57,95	953,1	967,9	548	39	225	151	1	12
			DE	102,5	58,3	945,5	956,5	538	44	235	151	1	9

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
1	3,846	96,154	955,500	946,000	547	408,500	491,045	1,946	2,316	2,429	6,994	77,031
2	3,846	96,154	928,500	941,200	540	388,500	469,864	1,976	2,423	2,552	7,103	74,465
3	3,846	96,154	918,200	954,100	540	378,200	467,812	1,963	2,523	2,668	7,055	70,747
1	4,762	95,238	942,200	950,600	540	402,200	490,990	1,919	2,364	2,516	8,540	72,652
2	4,762	95,238	925,500	948,100	540	385,500	483,415	1,915	2,459	2,630	8,520	69,324
3	4,762	95,238	936,700	951,900	544	392,700	482,473	1,941	2,424	2,588	8,640	71,453
1	5,660	94,340	951,000	972,600	555	396,000	483,753	1,966	2,456	2,663	10,400	69,642
2	5,660	94,340	953,100	967,900	548	405,100	479,804	1,986	2,389	2,580	10,508	72,631
3	5,660	94,340	945,500	956,500	538	407,500	480,824	1,966	2,347	2,528	10,402	73,373

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	k	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
22,969	30,451	15,975	33	1,123	434,960	2,030	59,250	214,266	0,224	25,316	82,919	469,720
25,535	27,817	18,432	50	1,188	697,365	2,750	57,250	253,587	0,212	26,201	82,114	457,055
29,253	24,118	22,197	52	1,198	730,982	2,500	57,000	292,393	0,180	26,316	82,114	388,404
27,348	31,228	18,808	42	1,099	542,029	1,900	60,000	285,279	0,155	25,000	81,873	317,844
30,676	27,775	22,156	39	1,147	524,964	1,100	58,500	477,240	0,225	25,641	82,677	476,766
28,547	30,267	19,907	41	1,147	551,885	2,080	58,500	265,329	0,200	25,641	82,516	423,792
30,358	34,257	19,958	40	1,131	530,892	2,800	59,000	189,604	0,183	25,424	82,034	381,413
27,369	38,395	16,861	39	1,165	533,357	2,250	57,950	237,048	0,148	25,884	82,838	317,844
26,627	39,068	16,224	44	1,153	595,711	2,350	58,300	253,494	0,200	25,729	82,516	423,792

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,5%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
5 mm	0,5%	4%	EB	101,9	59,9	920,1	950,7	543	32	315	151	1	9
			EC	103,45	57,75	928,8	947,8	542	30	188	151	1	15
			ED	102,25	58,75	932,8	940,3	541	36	225	151	1	13
		5%	FA	102,1	58,5	941,1	957,6	541	42	205	151	1	9
			FD	102,6	57,5	942,7	957,7	544	38	265	151	1	7
			FE	101,75	57	933,9	950	537	46	280	151	1	14
		6%	GC	104,5	58	928,5	943,1	535	15	475	151	1	9
			GD	103,5	59,65	938	957,1	539	28	295	151	1	9
			GE	104,25	57	950,3	961,1	544	30	330	151	1	12

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	920,100	950,7	543	377,100	488,253	1,884	2,521	2,666	6,774	67,975
2	3,846	96,154	928,800	947,8	542	386,800	485,157	1,914	2,450	2,584	6,881	71,247
3	3,846	96,154	932,800	940,300	541	391,800	482,174	1,935	2,400	2,526	6,954	73,655
1	4,762	95,238	941,100	957,6	541	400,100	478,715	1,966	2,393	2,551	8,749	73,389
2	4,762	95,238	942,700	957,7	544	398,700	475,152	1,984	2,402	2,561	8,830	73,766
3	4,762	95,238	933,900	950,000	537	396,900	463,248	2,016	2,394	2,551	8,972	75,254
1	5,660	94,340	928,500	943,1	535	393,500	497,199	1,867	2,397	2,589	9,879	68,039
2	5,660	94,340	938,000	957,1	539	399,000	501,604	1,870	2,399	2,592	9,892	68,065
3	5,660	94,340	950,300	961,1	544	406,300	486,291	1,954	2,365	2,551	10,338	72,274

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	K	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
24,863	28,870	17,685	47	1,244	686,557	3,350	55,750	204,943	0,122	26,906	83,323	272,438
26,359	26,698	19,321	36	1,145	483,878	2,050	58,550	236,038	0,262	25,619	81,313	544,875
24,707	28,768	17,599	51	1,147	686,491	2,300	58,500	298,475	0,183	25,641	81,313	381,413
24,363	36,892	15,375	42	1,226	604,275	2,950	56,250	204,839	0,115	26,667	82,919	254,275
26,009	34,244	17,102	51	1,172	701,459	2,500	57,750	280,583	0,225	25,974	81,713	476,766
26,287	33,524	17,475	39	1,241	567,980	2,300	55,850	246,948	0,167	26,858	84,949	381,413
25,483	41,674	14,863	33	1,246	482,777	3,750	55,700	128,741	0,187	26,930	84,378	423,792
31,322	31,924	21,323	32	1,131	424,714	5,300	59,000	80,135	0,223	25,424	84,134	476,766
19,014	60,657	7,481	44	1,386	715,692	3,950	52,500	181,188	0,179	28,571	82,919	423,792

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
5 mm	0,75%	4%	HA	103	55,75	927,6	942,7	539	47	335	151	1	14
			HC	101,75	58,55	931,6	952,7	539	36	205	151	1	7
			HD	101,75	58,5	940,1	957,7	541	51	230	151	1	10
		5%	IC	102,75	56,25	941,5	955,8	541	42	295	151	1	15
			ID	102	57,75	943,9	963	545	51	250	151	1	8
			IE	104	55,85	939	950,2	543	39	230	151	1	10
		6%	JA	103,65	55,7	943	952,6	539	33	375	151	1	9
			JB	103,5	59	937,8	950,9	542	32	530	151	1	8
			JE	102,75	52,5	948,6	965,2	539	44	395	151	1	9

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	927,600	942,7	539	388,600	464,525	1,997	2,426	2,555	7,178	75,137
2	3,846	96,154	931,600	952,7	539	392,600	475,845	1,958	2,427	2,556	7,037	73,641
3	3,846	96,154	940,100	957,7	541	399,100	475,439	1,977	2,400	2,525	7,108	75,293
1	4,762	95,238	941,500	955,8	541	400,500	466,182	2,020	2,387	2,543	8,988	75,637
2	4,762	95,238	943,900	963,000	545	398,900	471,652	2,001	2,414	2,576	8,906	73,991
3	4,762	95,238	939,000	950,2	543	396,000	474,198	1,980	2,399	2,558	8,813	73,713
1	5,660	94,340	943,000	952,600	539	404,000	469,746	2,007	2,358	2,541	10,620	74,517
2	5,660	94,340	937,800	950,9	542	395,800	496,138	1,890	2,402	2,596	9,999	68,678
3	5,660	94,340	948,600	965,2	539	409,600	435,104	2,180	2,356	2,540	11,533	80,986

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	K	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
24,863	28,870	17,685	47	1,244	686,557	3,350	55,750	204,943	0,122	26,906	83,323	272,438
26,359	26,698	19,321	36	1,145	483,878	2,050	58,550	236,038	0,262	25,619	81,313	544,875
24,707	28,768	17,599	51	1,147	686,491	2,300	58,500	298,475	0,183	25,641	81,313	381,413
24,363	36,892	15,375	42	1,226	604,275	2,950	56,250	204,839	0,115	26,667	82,919	254,275
26,009	34,244	17,102	51	1,172	701,459	2,500	57,750	280,583	0,225	25,974	81,713	476,766
26,287	33,524	17,475	39	1,241	567,980	2,300	55,850	246,948	0,167	26,858	84,949	381,413
25,483	41,674	14,863	33	1,246	482,777	3,750	55,700	128,741	0,187	26,930	84,378	423,792
31,322	31,924	21,323	32	1,131	424,714	5,300	59,000	80,135	0,223	25,424	84,134	476,766
19,014	60,657	7,481	44	1,386	715,692	3,950	52,500	181,188	0,179	28,571	82,919	423,792

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
5 mm	1%	4%	KA	102,25	58,7	942	967,7	542	52	190	151	1	9
			KB	101,9	58,25	932,6	954	533	42	260	151	1	8
			KC	101,75	58,05	928,8	955,9	542	41	300	151	1	10
		5%	LA	102,5	57	932,2	947,2	539	44	300	151	1	16
			LB	102,5	56,7	913,6	934,6	531	33	405	151	1	12
			LC	102,2	58	949,5	965,5	547	47	210	151	1	7
		6%	MA	102,5	57,5	948,9	965,1	541	35	205	151	1	7
			MB	102,2	56,6	938,1	958,1	536	42	245	151	1	12
			MC	102,2	55,8	936,8	956	538	38	240	151	1	13

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	942,000	967,7	542	400,000	481,764	1,955	2,419	2,548	7,028	73,795
2	3,846	96,154	932,600	954,000	533	399,600	474,804	1,964	2,387	2,511	7,060	75,213
3	3,846	96,154	928,800	955,9	542	386,800	471,781	1,969	2,471	2,608	7,077	72,586
1	4,762	95,238	932,200	947,2	539	393,200	470,102	1,983	2,409	2,570	8,825	73,492
2	4,762	95,238	913,600	934,6	531	382,600	467,628	1,954	2,443	2,610	8,695	71,284
3	4,762	95,238	949,500	965,5	547	402,500	475,554	1,997	2,399	2,558	8,886	74,350
1	5,660	94,340	948,900	965,1	541	407,900	474,226	2,001	2,366	2,551	10,585	73,985
2	5,660	94,340	938,100	958,1	536	402,100	464,075	2,021	2,383	2,572	10,694	74,143
3	5,660	94,340	936,800	956,000	538	398,800	457,515	2,048	2,397	2,590	10,832	74,584

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	K	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
26,205	26,821	19,177	52	1,140	695,883	1,900	58,700	366,254	0,202	25,554	82,114	423,792
24,787	28,484	17,727	42	1,155	569,454	2,600	58,250	219,021	0,227	25,751	81,553	476,766
27,414	25,814	20,337	41	1,162	559,105	3,000	58,050	186,368	0,182	25,840	81,313	381,413
26,508	33,292	17,683	44	1,146	592,052	3,000	57,000	197,351	0,110	26,316	82,516	238,383
28,716	30,278	20,021	33	1,156	447,671	4,050	56,700	110,536	0,146	26,455	82,516	317,844
25,650	34,642	16,764	47	1,163	641,844	2,100	58,000	305,640	0,257	25,862	82,034	544,875
26,015	40,688	15,430	35	1,180	484,817	2,050	57,500	236,496	0,253	26,087	82,516	544,875
25,857	41,357	15,163	42	1,159	571,303	2,450	56,600	233,185	0,146	26,502	82,034	317,844
25,416	42,618	14,584	38	1,184	528,045	2,400	55,800	220,019	0,133	26,882	82,034	293,394

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,5%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	t
2,5 mm	0,5%	4%	NB	102,5	58	936,7	959,9	543	39	410	151	1	14
			NC	102,9	58	939,3	960,2	541	50	370	151	1	10
			ND	103,3	57	929,6	954,9	533	32	160	151	1	10
		5%	OA	102,45	56,7	922,5	938,4	532	36	220	151	1	12
			OB	102,5	58,5	967,8	986,5	557	45	295	151	1	9
			OE	103	57,75	939,6	960,1	538	39	295	151	1	13
		6%	PB	101,75	56	928,7	946,1	539	40	330	151	1	6
			PC	103,5	55,9	935,5	948,8	533	34	210	151	1	16
			PD	102,6	57,3	950,4	966,9	542	24	270	151	1	14

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	936,700	959,9	543	393,700	478,350	1,958	2,438	2,570	7,039	73,276
2	3,846	96,154	939,300	960,2	541	398,300	482,090	1,948	2,411	2,538	7,004	73,817
3	3,846	96,154	929,600	954,9	533	396,600	477,469	1,947	2,408	2,534	6,998	73,864
1	4,762	95,238	922,500	938,4	532	390,500	467,172	1,975	2,403	2,563	8,788	73,384
2	4,762	95,238	967,800	986,5	557	410,800	482,473	2,006	2,401	2,561	8,927	74,604
3	4,762	95,238	939,600	960,1	538	401,600	480,946	1,954	2,391	2,548	8,694	73,025
1	5,660	94,340	928,700	946,1	539	389,700	455,121	2,041	2,428	2,628	10,795	73,256
2	5,660	94,340	935,500	948,8	533	402,500	470,070	1,990	2,357	2,541	10,528	73,897
3	5,660	94,340	950,400	966,9	542	408,400	473,499	2,007	2,368	2,553	10,618	74,161

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	k	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
26,724	26,339	19,685	39	1,163	532,594	4,100	58,000	129,901	0,128	25,862	82,516	272,438
26,183	26,749	19,179	50	1,163	682,813	3,700	58,000	184,544	0,177	25,862	83,161	381,413
26,136	26,776	19,138	32	1,198	449,835	1,600	57,000	281,147	0,173	26,316	83,809	381,413
26,616	33,017	17,828	36	1,209	510,819	2,200	56,700	232,190	0,146	26,455	82,435	317,844
25,396	35,151	16,469	45	1,147	605,728	2,950	58,500	205,331	0,200	25,641	82,516	423,792
26,975	32,231	18,281	39	1,172	536,409	2,950	57,750	181,834	0,193	25,974	83,323	200,744
26,744	40,363	15,949	40	1,235	579,902	3,300	56,000	175,728	0,292	26,786	81,313	635,688
26,103	40,333	15,575	34	1,239	494,414	2,100	55,900	235,435	0,106	26,834	84,134	238,383
25,839	41,094	15,220	24	1,187	334,324	2,700	57,300	123,824	0,126	26,178	82,677	272,438

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75%

Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	T
2,5 mm	0,75%	4%	QA	102	56	936,1	955,7	540	44	220	151	1	10
			QD	101,85	56,9	931,2	947,3	531	47	205	151	1	9
			QE	102	57,6	952,1	976	549	46	260	151	1	15
		5%	RA	103,55	55,25	927,4	949,6	534	49	220	151	1	12
			RC	101,7	58,25	940,5	959,3	540	47	215	151	1	13
			RD	103,25	56,1	940,2	956,7	542	36	240	151	1	10
		6%	SC	102,1	58,25	944,5	966,3	528	24	208	151	1	9
			SD	102,1	58,25	935,1	951,5	535	25	290	151	1	8
			SE	101,75	57,2	930,2	950	525	28	250	151	1	11

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	936,100	955,700	540	396,100	457,360	2,047	2,413	2,540	7,357	77,473
2	3,846	96,154	931,200	947,300	531	400,200	463,344	2,010	2,367	2,488	7,224	77,680
3	3,846	96,154	952,100	976,000	549	403,100	470,427	2,024	2,421	2,550	7,275	76,315
1	4,762	95,238	927,400	949,600	534	393,400	465,053	1,994	2,414	2,576	8,875	73,740
2	4,762	95,238	940,500	959,300	540	400,500	472,942	1,989	2,395	2,553	8,850	74,173
3	4,762	95,238	940,200	956,700	542	398,200	469,475	2,003	2,403	2,562	8,913	74,443
1	5,660	94,340	944,500	966,300	528	416,500	476,669	1,981	2,320	2,495	10,482	74,924
2	5,660	94,340	935,100	951,500	535	400,100	476,669	1,962	2,378	2,566	10,378	72,112
3	5,660	94,340	930,200	950,000	525	405,200	464,873	2,001	2,345	2,525	10,585	74,762

(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	k	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
22,527	32,658	15,170	44	1,235	637,892	2,200	56,000	289,951	0,174	26,786	81,713	381,413
22,320	32,366	15,096	47	1,201	662,764	2,050	56,900	323,300	0,197	26,362	81,473	423,792
23,685	30,715	16,410	46	1,177	635,388	2,600	57,600	244,380	0,119	26,042	81,713	254,275
26,260	33,796	17,385	49	1,265	727,816	2,200	55,250	330,825	0,139	27,149	84,215	317,844
25,827	34,267	16,977	47	1,155	637,247	2,150	58,250	296,394	0,140	25,751	81,233	293,394
25,557	34,873	16,645	36	1,231	520,327	2,400	56,100	216,803	0,170	26,738	83,728	381,413
25,076	41,801	14,594	24	1,155	325,403	2,080	58,250	156,444	0,201	25,751	81,873	423,792
27,888	37,212	17,510	25	1,155	338,961	2,900	58,250	116,883	0,226	25,751	81,873	476,766
25,238	41,941	14,653	28	1,190	391,140	2,500	57,200	156,456	0,163	26,224	81,313	346,739

Tabel Hasil Pengujian Marshall Standart pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%

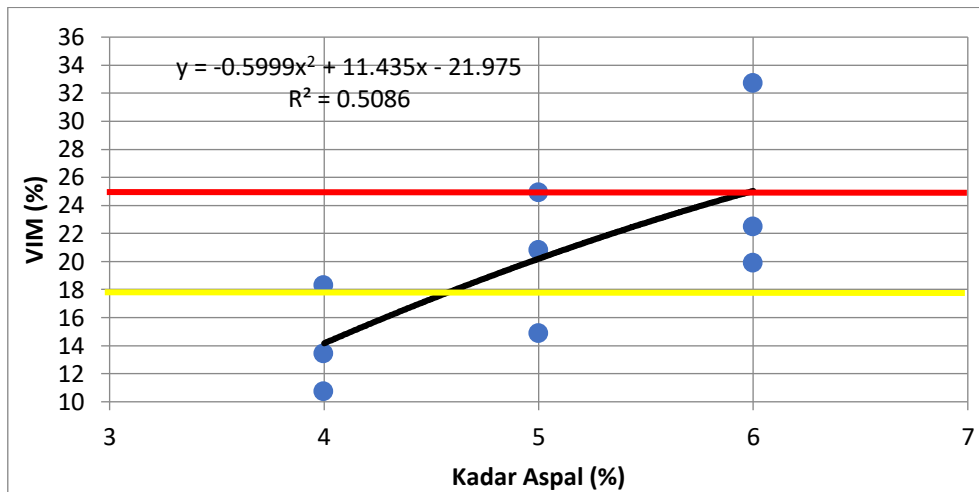
Panjang SK	Kadar SK	Kadar Aspal	No. Sampel	Dimensi		Berat BU	Berat SSD	Berat Dlm Air	Marshall		Permeabilitas		
				D (mm)	H (mm)	(gr)	(gr)	(gr)	Stabilitas	Flow	h1	h2	T
2,5 mm	1%	4%	TB	102,5	58,1	931	953,6	528	34	275	151	1	14
			TD	102,5	58,2	935,6	947,3	529	36	245	151	1	7
			TE	101,25	58,3	937,5	976	528	35	250	151	1	8
		5%	UA	102,5	58,15	945,9	949,6	530	25	200	151	1	11
			UB	102,25	58,75	913	964,7	523	38	270	151	1	8
			UD	102,5	57,7	925,6	956,7	534	26	280	151	1	8
		6%	VB	102,25	55,25	923,9	949,6	522	35	190	151	1	11
			VD	101,9	56,5	943,7	962	529	34	250	151	1	7
			VE	102,05	55,85	1018,7	1029	579	36	410	151	1	10

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
No. Sampel	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap campuran	Berat benda Uji Kering	Berat Benda Uji SSD	Berat BU dlm Air	Volume Material	Volume Benda Uji	Berat Isi benda Uji	Berat Jenis Teoritis	BJ Agregat	Volume Aspal	Volume Agregat
	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(ml)	(ml)	(gr/ml)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(%)	(%)
1	3,846	96,154	931,000	953,600	528	403,000	479,174	1,943	2,366	2,487	6,984	75,126
2	3,846	96,154	935,600	947,300	529	406,600	479,999	1,949	2,330	2,445	7,006	76,656
3	3,846	96,154	937,500	976,000	528	409,500	469,168	1,998	2,383	2,506	7,183	76,657
1	4,762	95,238	945,900	949,600	530	415,900	479,587	1,972	2,283	2,420	8,778	77,605
2	4,762	95,238	913,000	964,700	523	390,000	482,174	1,894	2,474	2,647	8,427	68,122
3	4,762	95,238	925,600	956,700	534	391,600	475,875	1,945	2,443	2,611	8,656	70,959
1	5,660	94,340	923,900	949,600	522	401,900	453,449	2,037	2,363	2,547	10,778	75,455
2	5,660	94,340	943,700	962,000	529	414,700	460,539	2,049	2,320	2,495	10,840	77,494
3	5,660	94,340	1018,700	1029,000	579	439,700	456,582	2,231	2,340	2,520	11,803	83,536

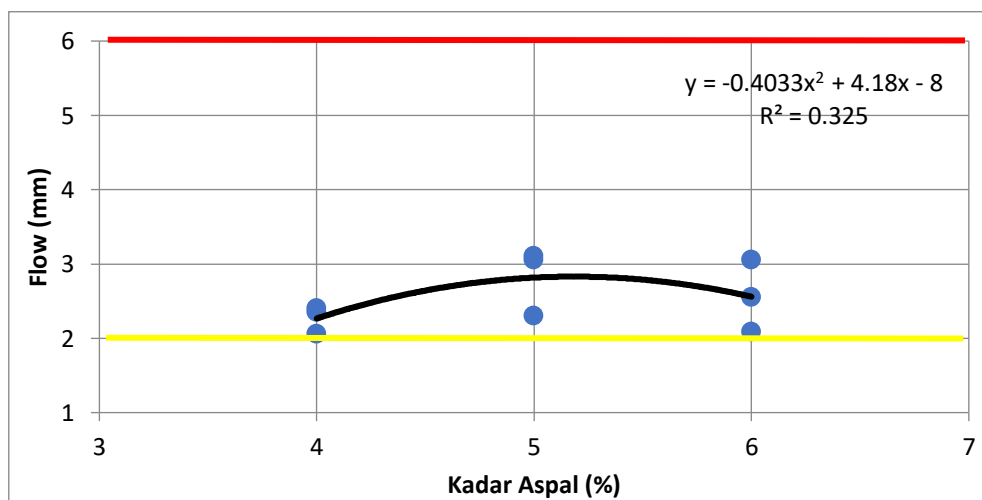
(14)	(15)	(16)	(17)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
VMA	VFB	VIM	Pembacaan Arloji Stabilitas	Korelasi Benda Uji	Stabilitas	Flow	Tebal Benda Uji	MQ	k	i	A	Q
(%)	(%)	(%)	(div)		(kg)	(mm)	(mm)	(kg/mm)	cm/s	cm3	(cm2)	(cm3/det)
24,874	28,077	17,890	34	1,160	462,983	2,750	58,100	168,357	0,128	25,818	82,516	272,438
23,344	30,013	16,338	36	1,157	488,808	2,450	58,200	199,514	0,256	25,773	82,516	544,875
23,343	30,769	16,161	35	1,153	473,861	2,500	58,300	189,544	0,230	25,729	80,516	476,766
22,395	39,194	13,617	25	1,158	339,939	2,000	58,150	169,970	0,163	25,795	82,516	346,739
31,878	26,435	23,451	38	1,138	507,833	2,700	58,750	188,086	0,227	25,532	82,114	476,766
29,041	29,807	20,385	26	1,173	358,115	2,800	57,700	127,898	0,222	25,997	82,516	476,766
24,545	43,912	13,767	35	1,265	519,869	1,900	55,250	273,615	0,156	27,149	82,114	346,739
22,506	48,164	11,666	34	1,216	485,433	2,500	56,500	194,173	0,252	26,549	81,553	544,875
16,464	71,688	4,661	36	1,241	524,289	4,100	55,850	127,875	0,174	26,858	81,793	381,413

Lampiran 4. Penentuan Kadar Aspal Optimum berdasarkan Grafik Pita

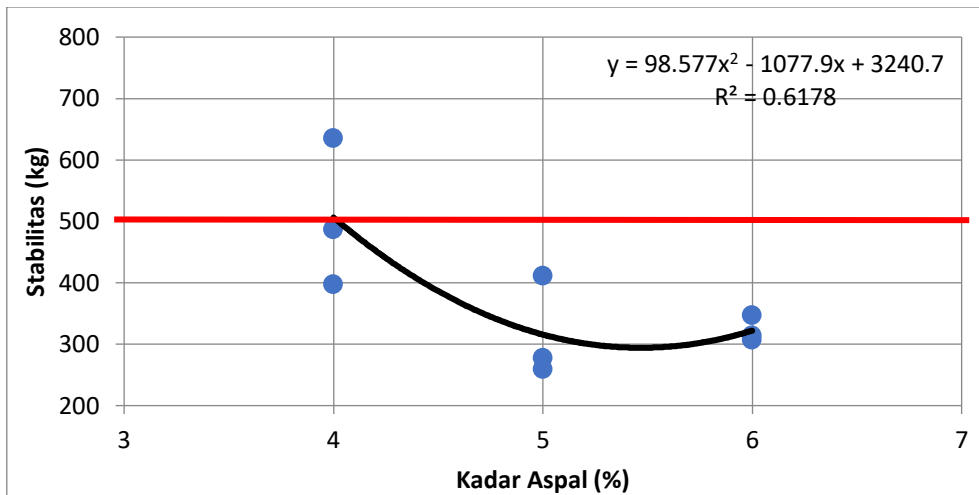
4.1 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut kelapa 0,5%



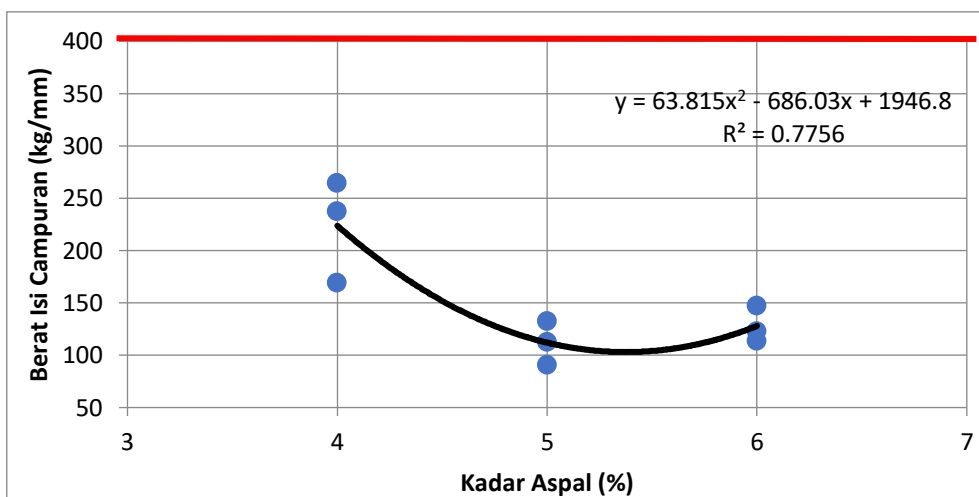
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



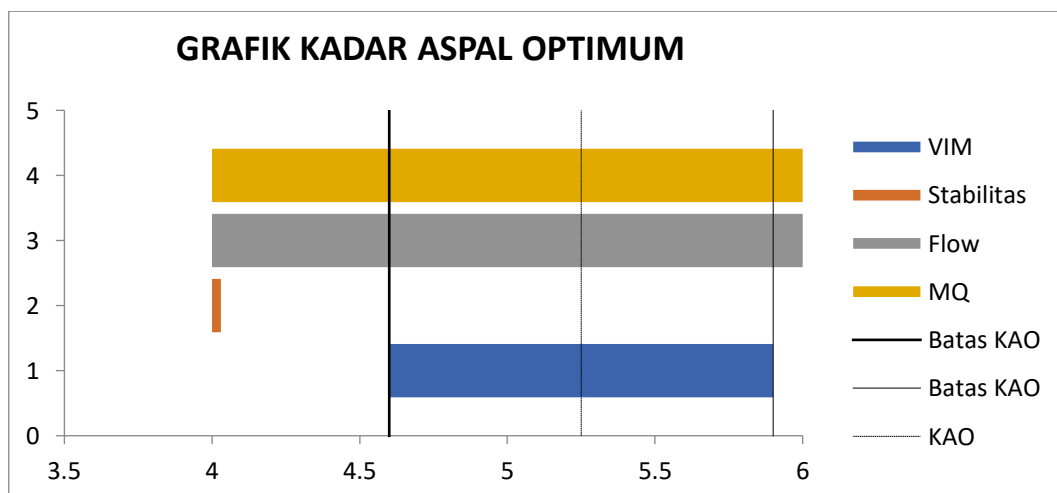
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,5%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%

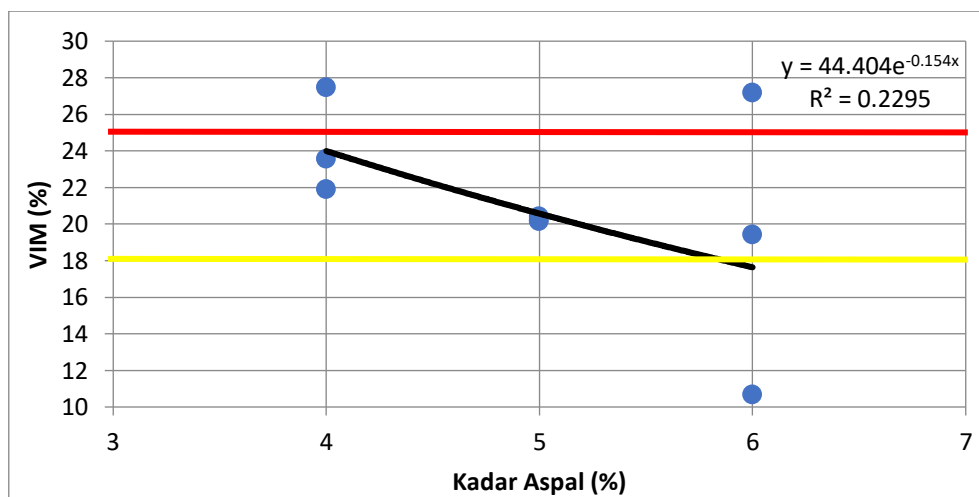


Gambar. Grafik Pita pada panjang serabut kelapa 7,5 mm dan kadar serabut kelapa 0,5 %`

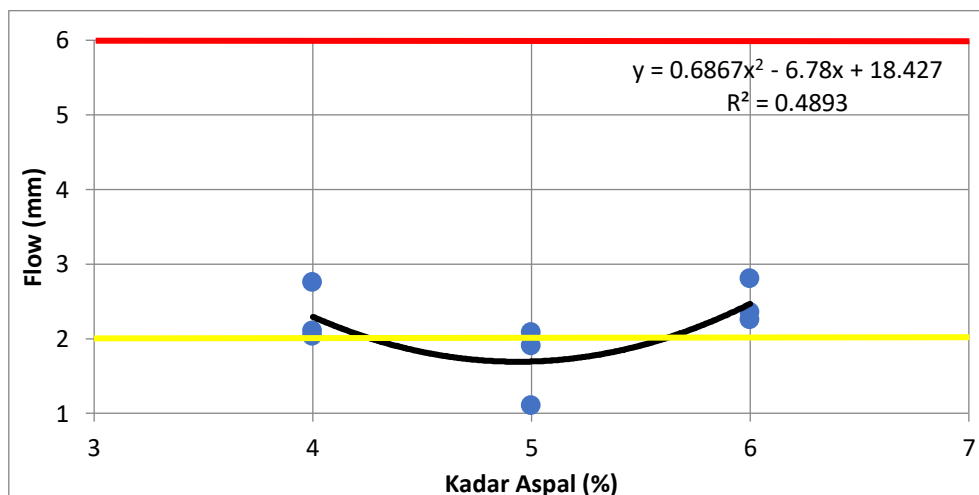
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 5,25%	Keterangan
VIM	18% - 25%	21,524	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	298,754	Tidak Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,83	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	104,04	Memenuhi

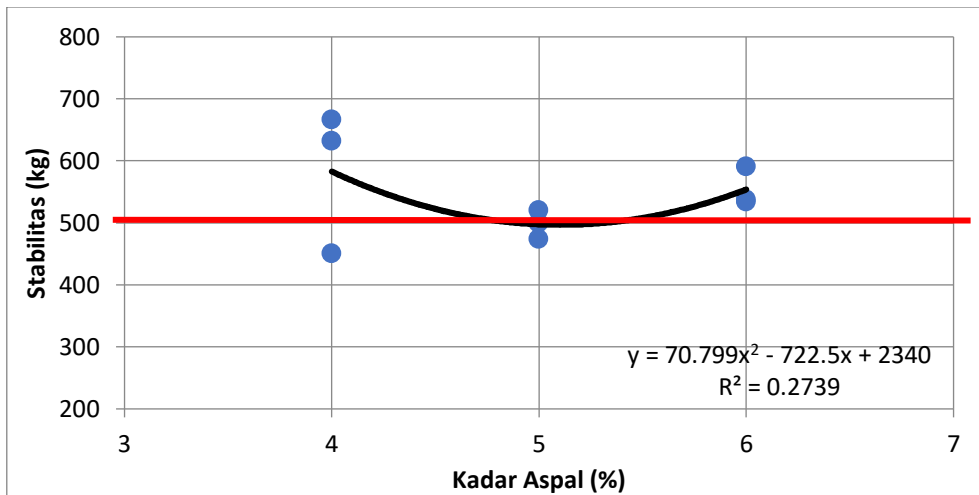
4.2 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut kelapa 0,75%



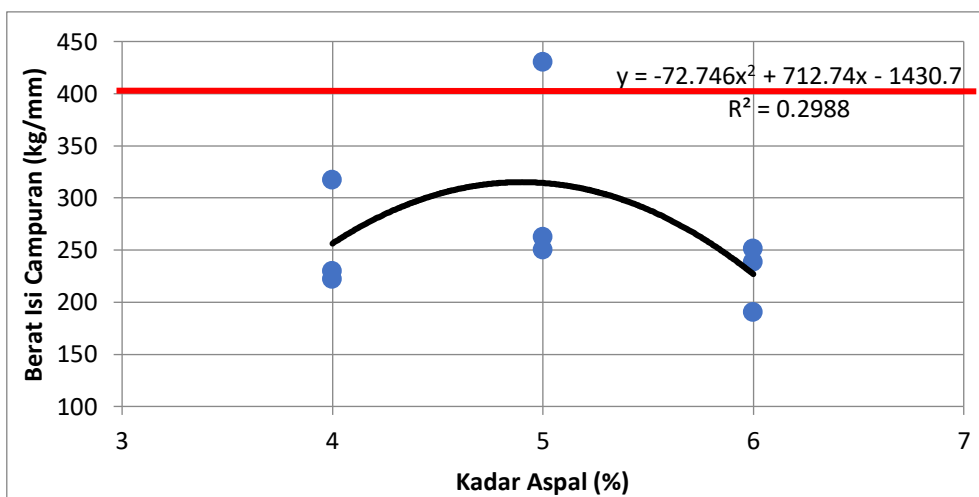
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



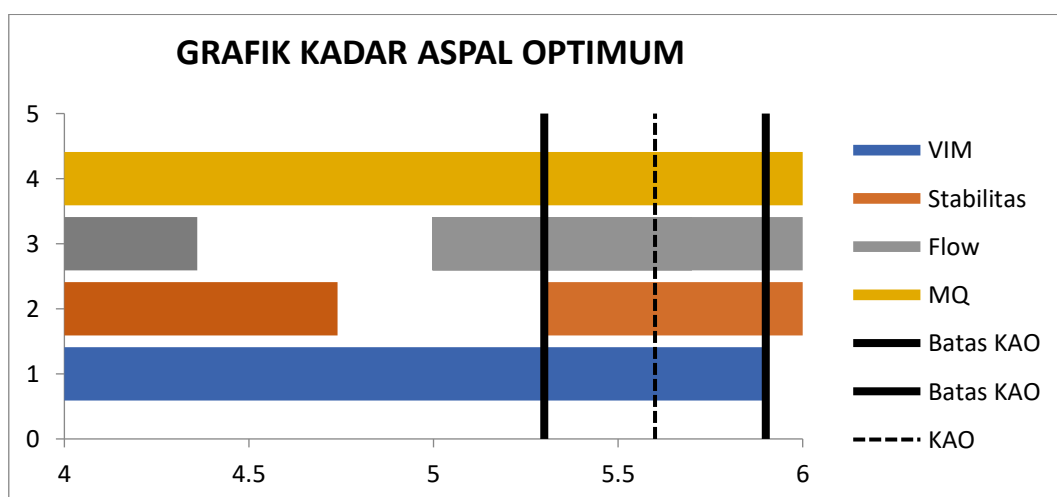
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%

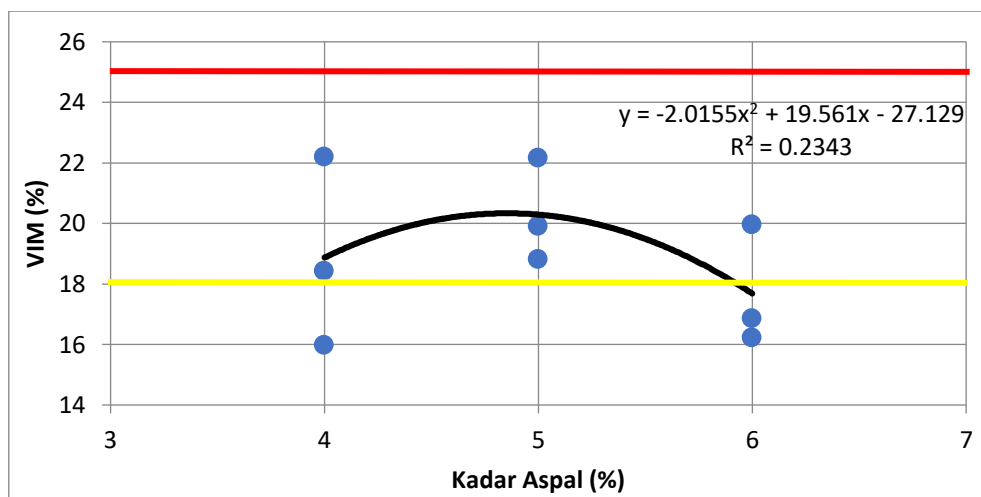


Gambar. Grafik Pita Pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75%

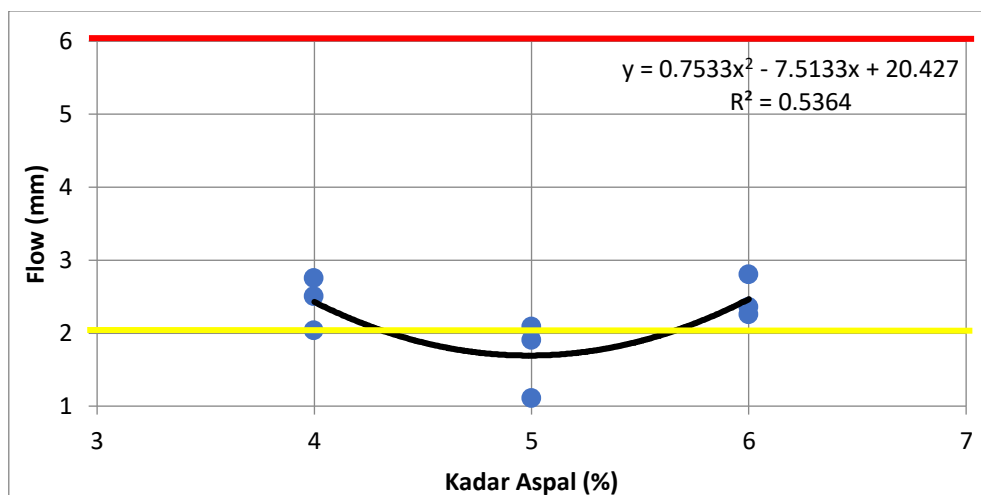
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 5,6%	Keterangan
VIM	18% - 25%	18,745	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	514,26	Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	1,99	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	279,329	Memenuhi

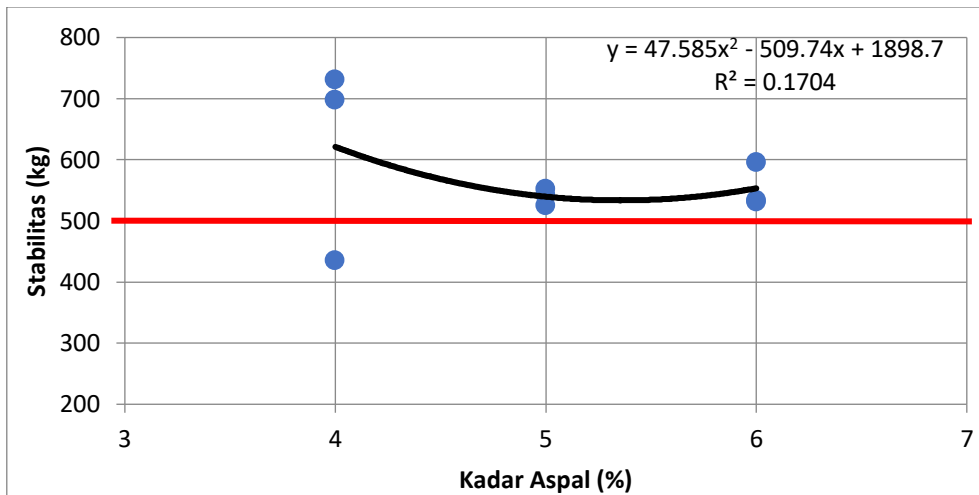
4.3 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 mm dan Kadar Serabut kelapa 1%



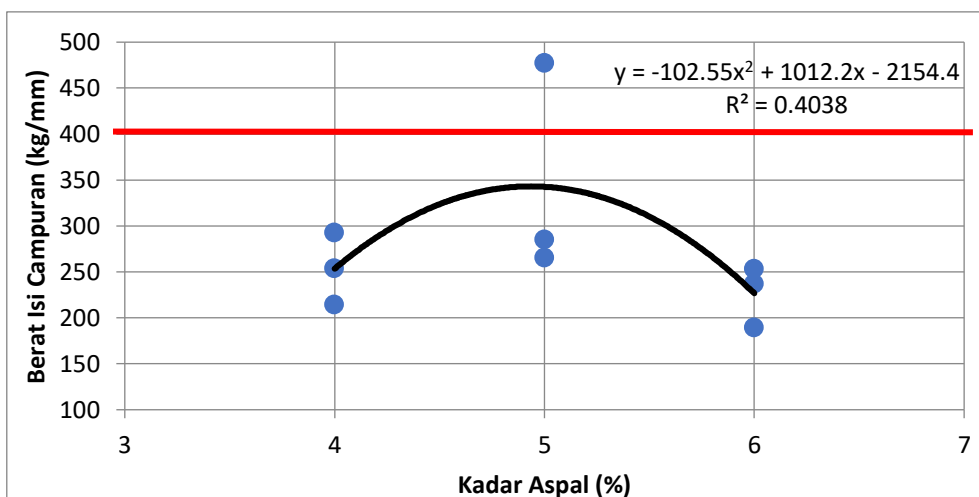
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



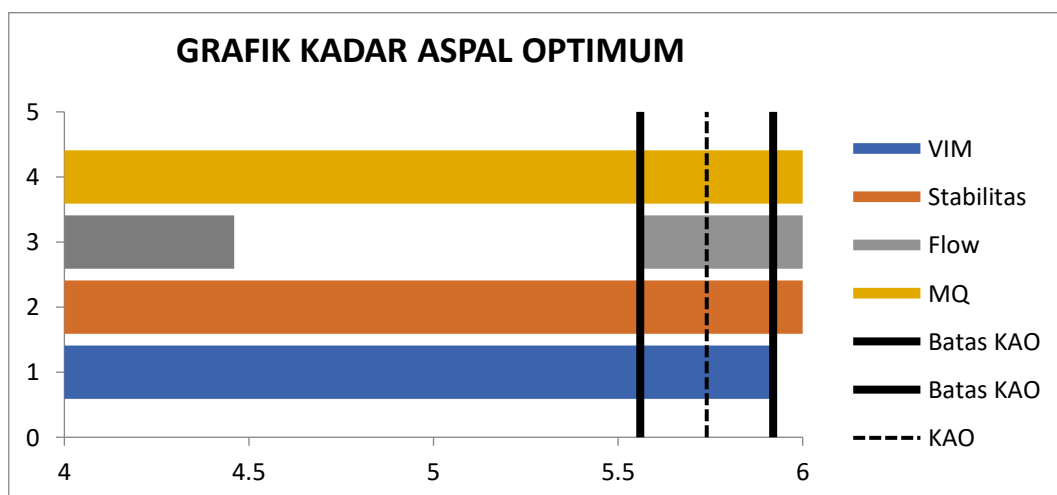
Gambar 4. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar 4. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar 4. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 7.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%

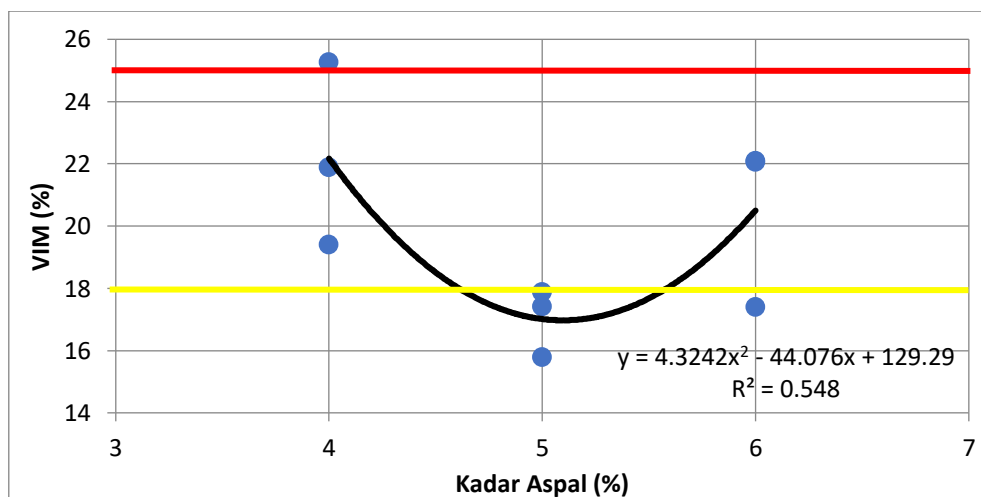


Gambar. Grafik Pita Pada Panjang Serabut Kelapa 7,5 Mm dan Kadar Serabut Kelapa 1 %

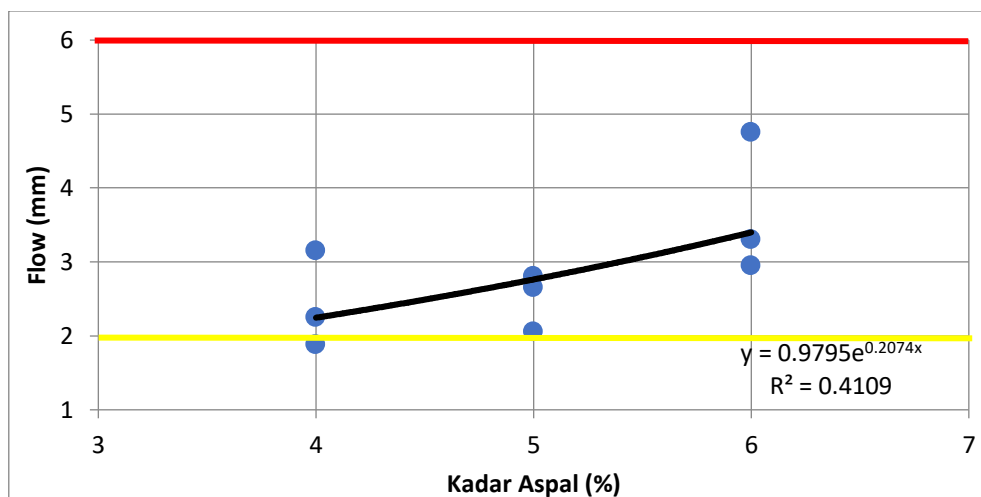
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 5,74%	Keterangan
VIM	18% - 25%	18,745	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	540,604	Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,12	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	276,85	Memenuhi

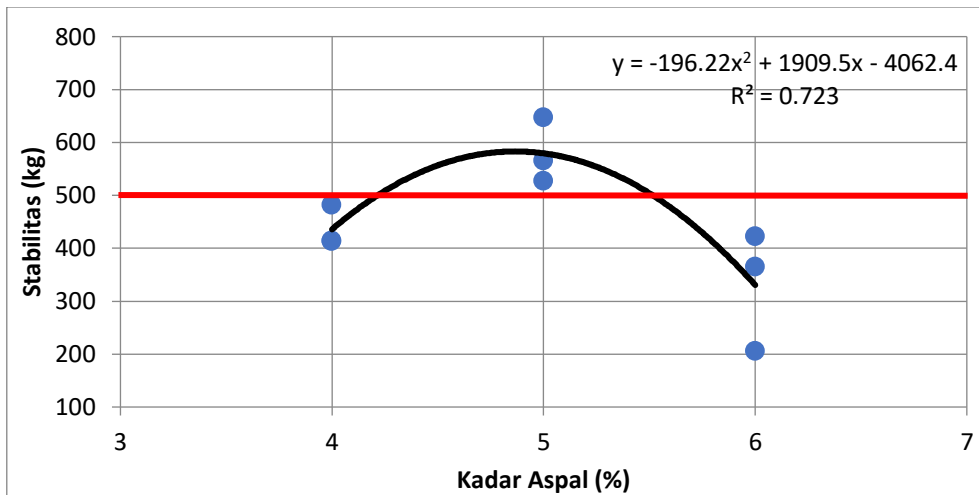
4.4 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut kelapa 0,5%



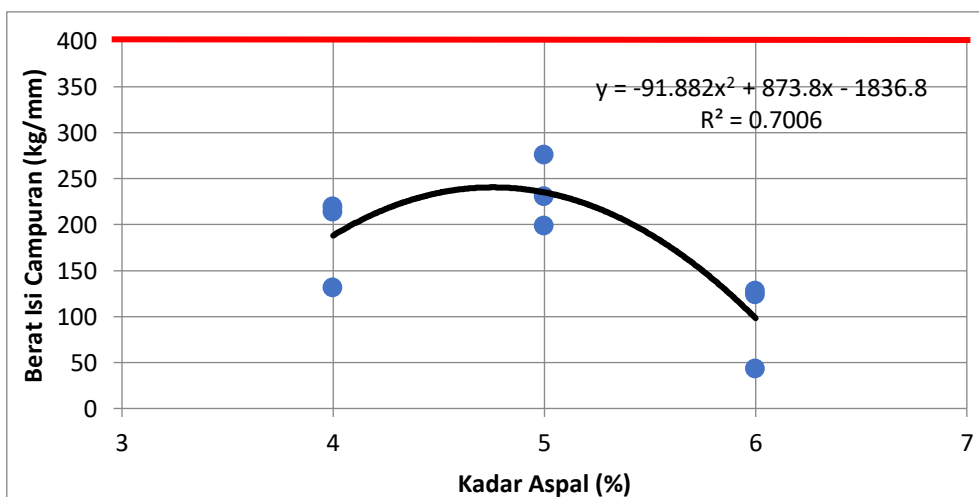
Gambar 4.4 Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



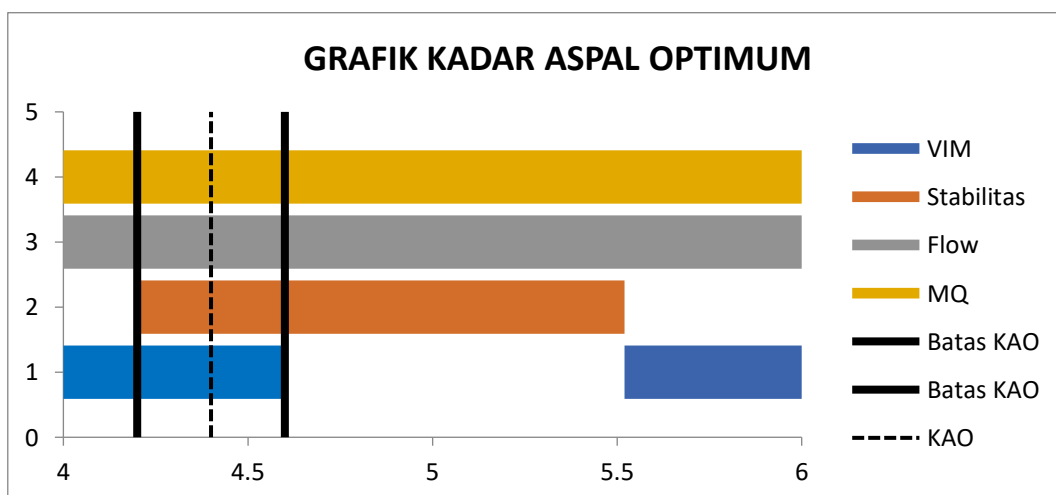
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%

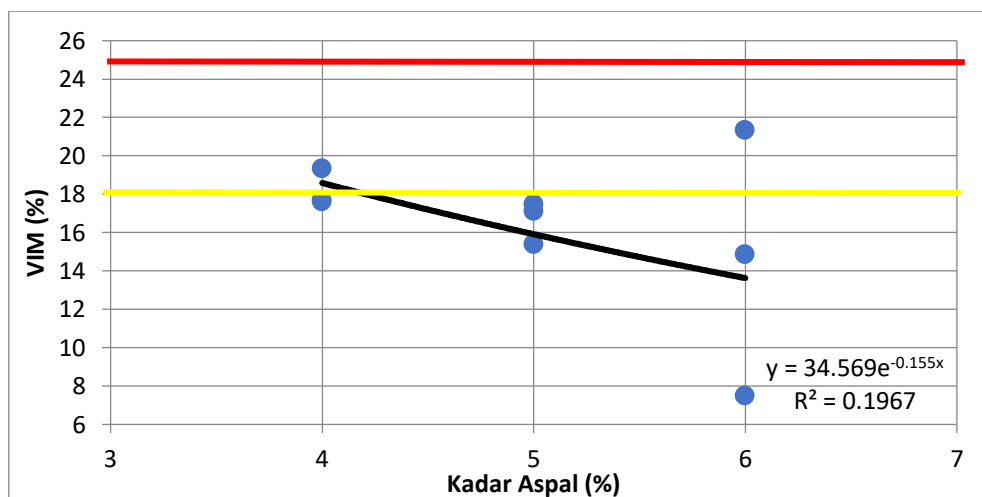


Gambar. Grafik Pita Pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,5 %

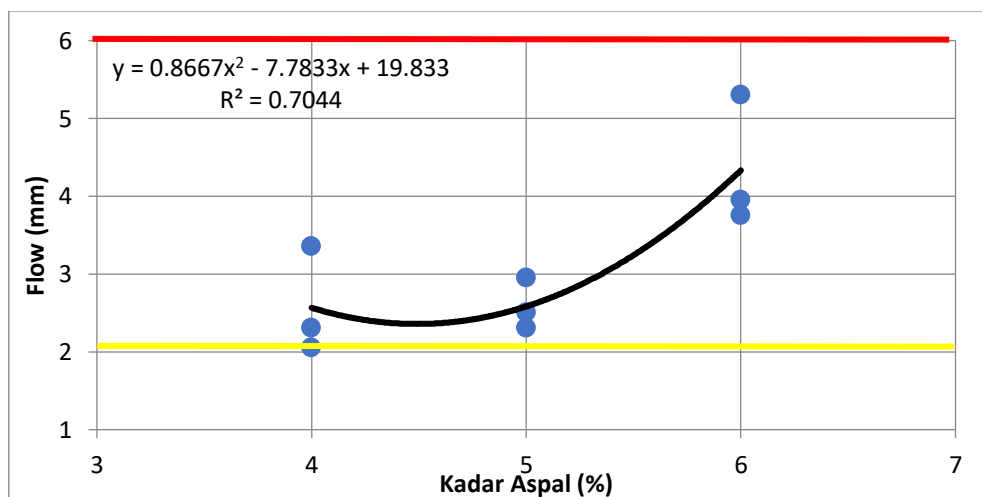
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 4,4%	Keterangan
VIM	18% - 25%	19,072	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	540,58	Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,44	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	229,084	Memenuhi

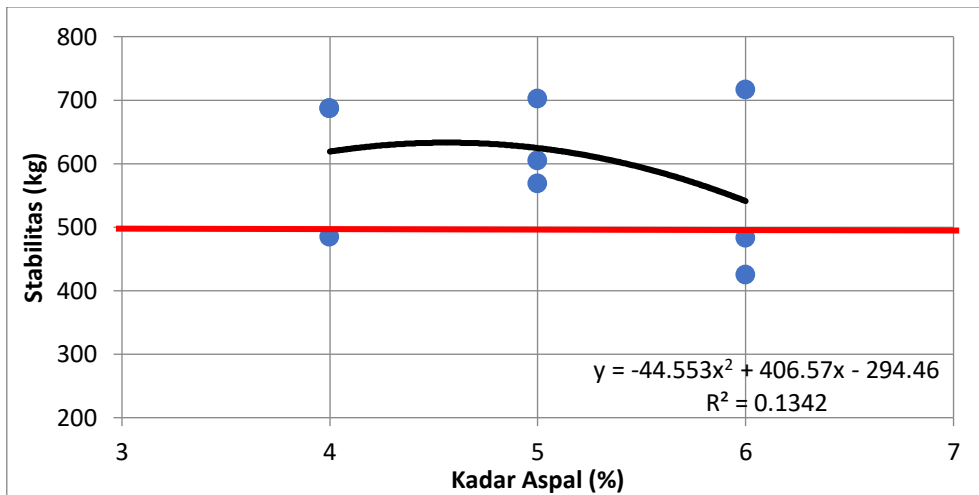
4.5 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut kelapa 0,75%



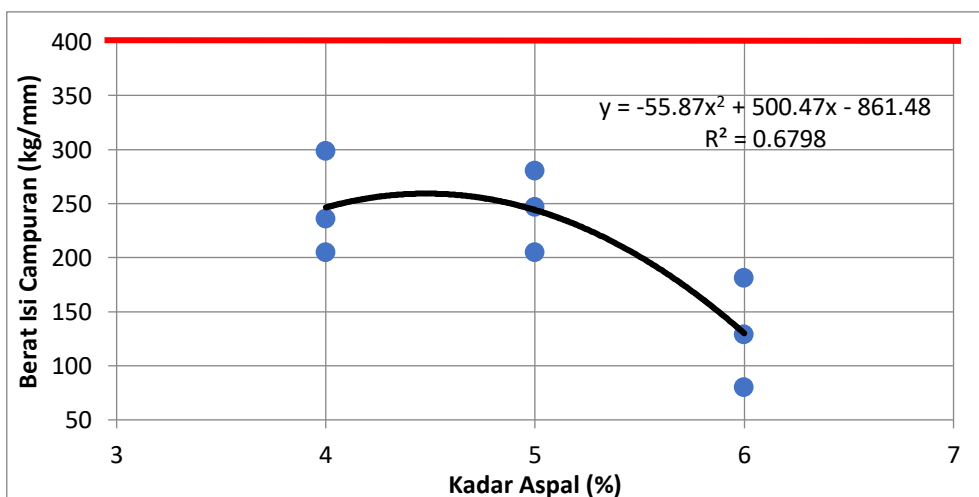
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



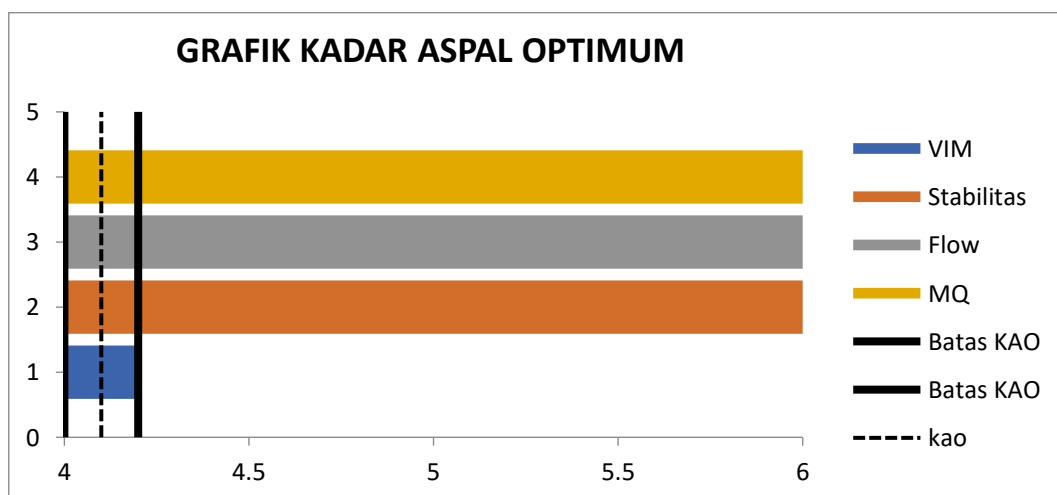
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%

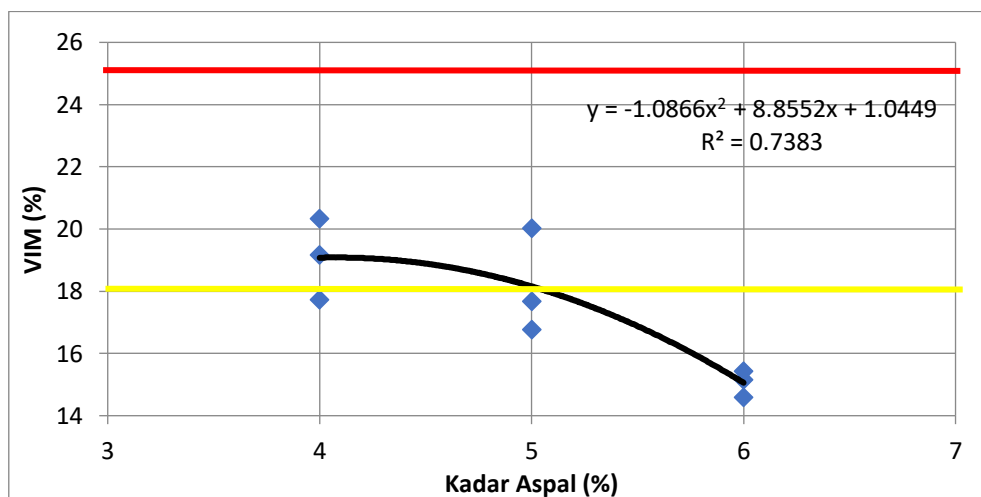


Gambar. Grafik Pita pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75 %

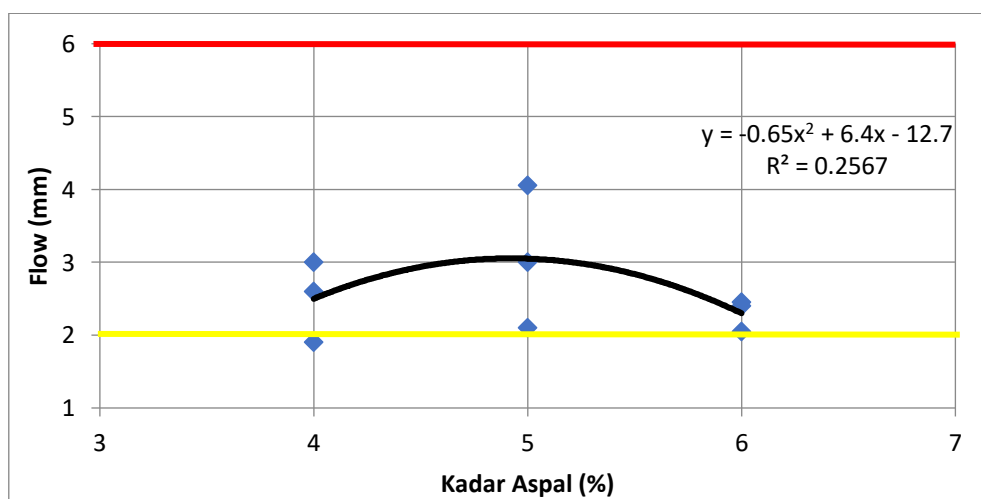
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 4,1	Keterangan
VIM	18% - 25%	18,31	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	623,541	Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,49	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	251,272	Memenuhi

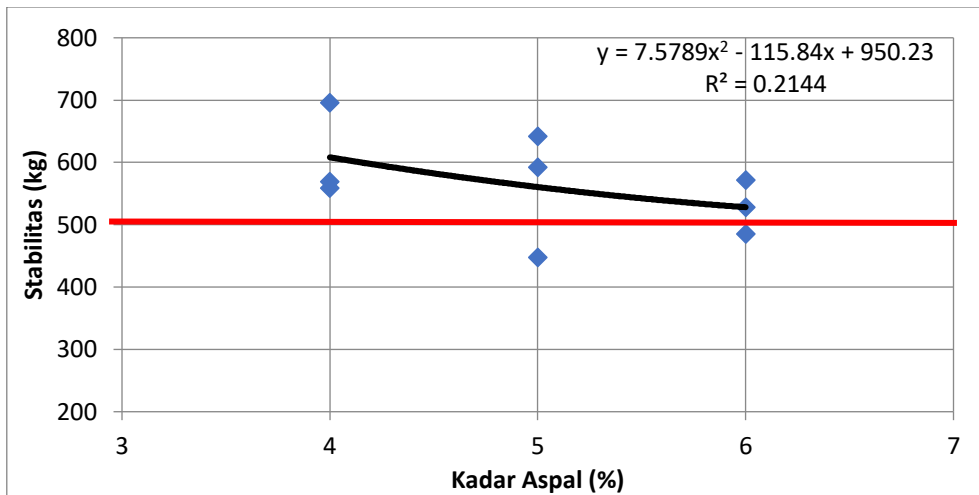
4.6 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



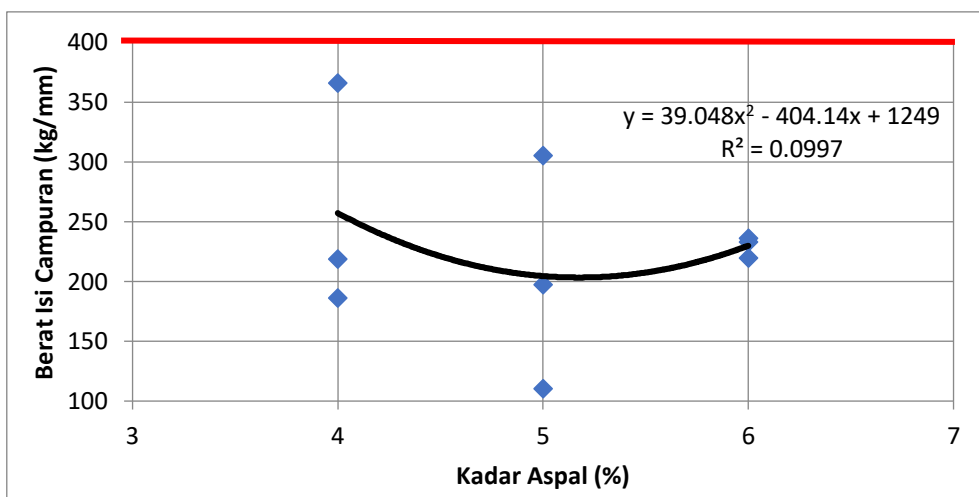
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



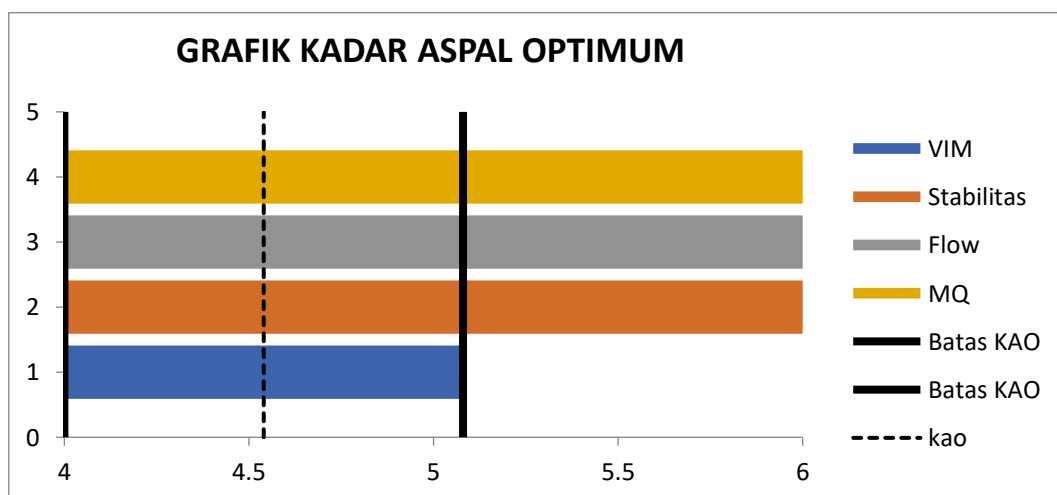
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%

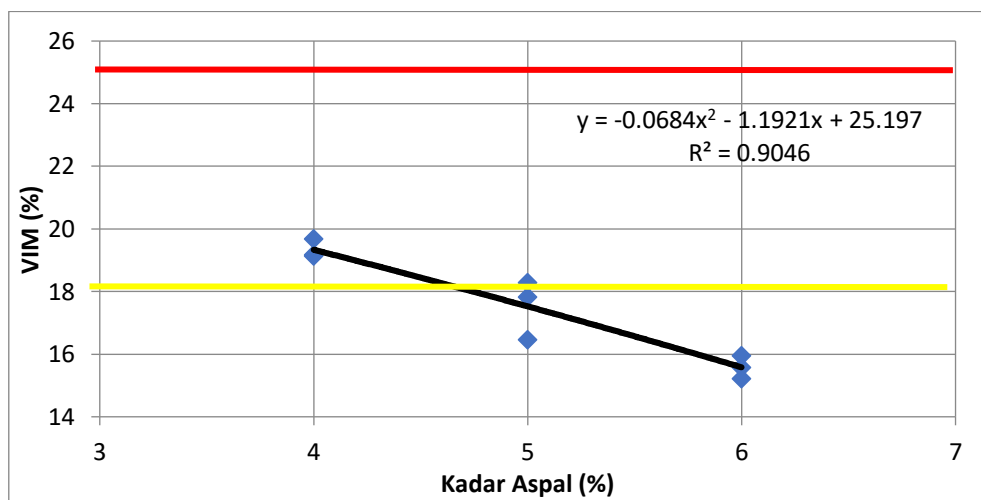


Gambar. Grafik Pita pada Panjang Serabut Kelapa 5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1 %

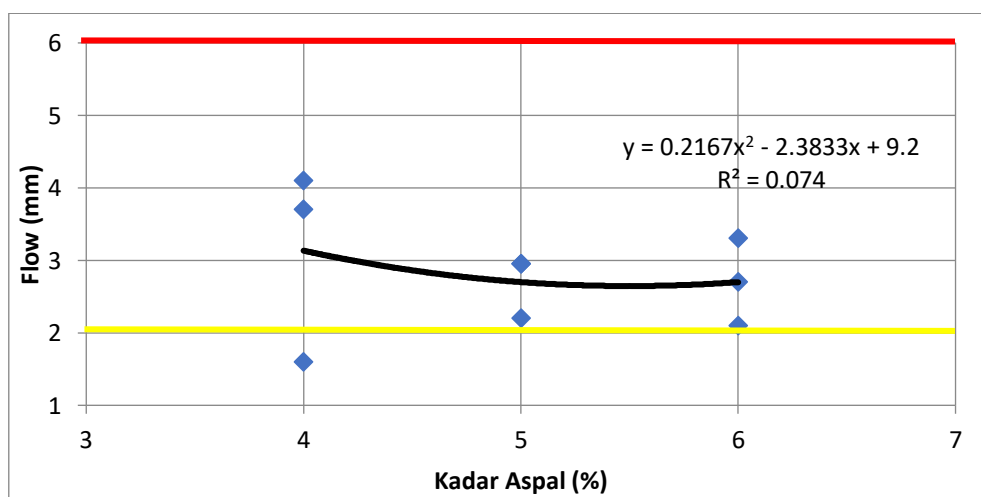
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 4,54%	Keterangan
VIM	18% - 25%	18,85	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	580,53	Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,96	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	219,046	Memenuhi

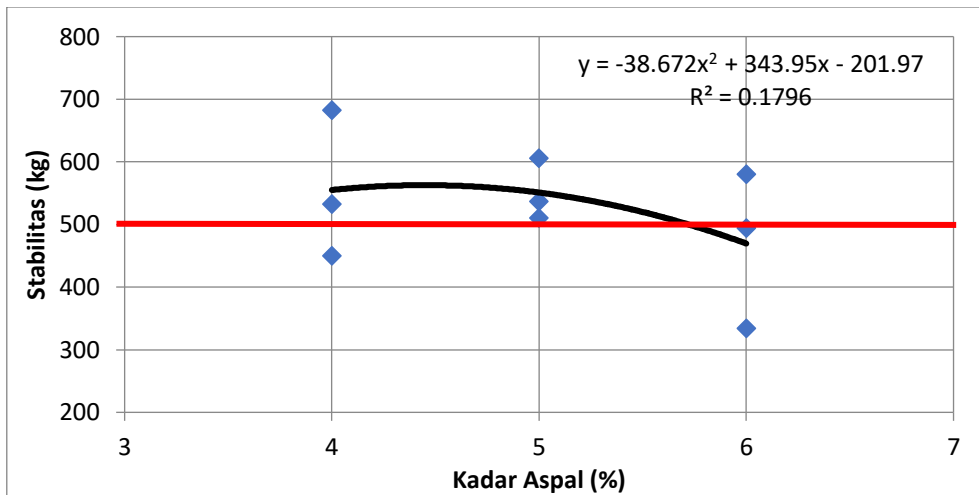
4.7 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut kelapa 0,5%



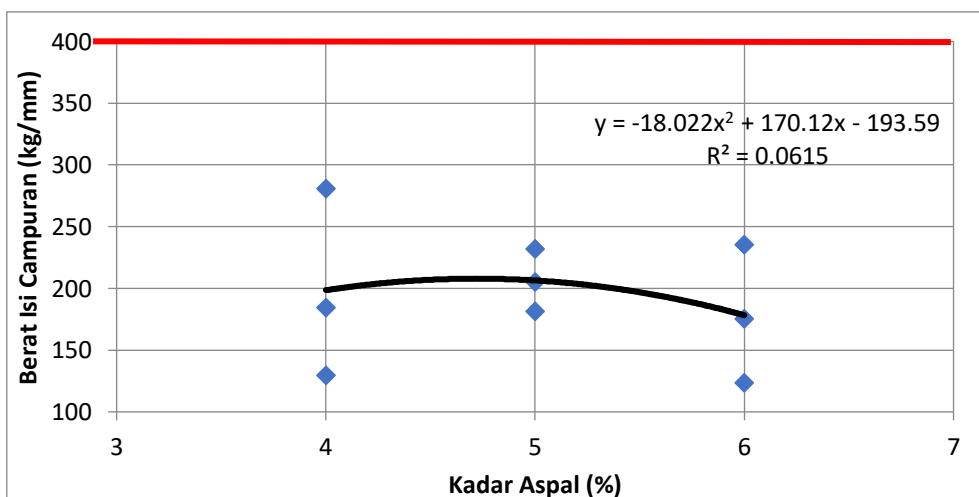
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



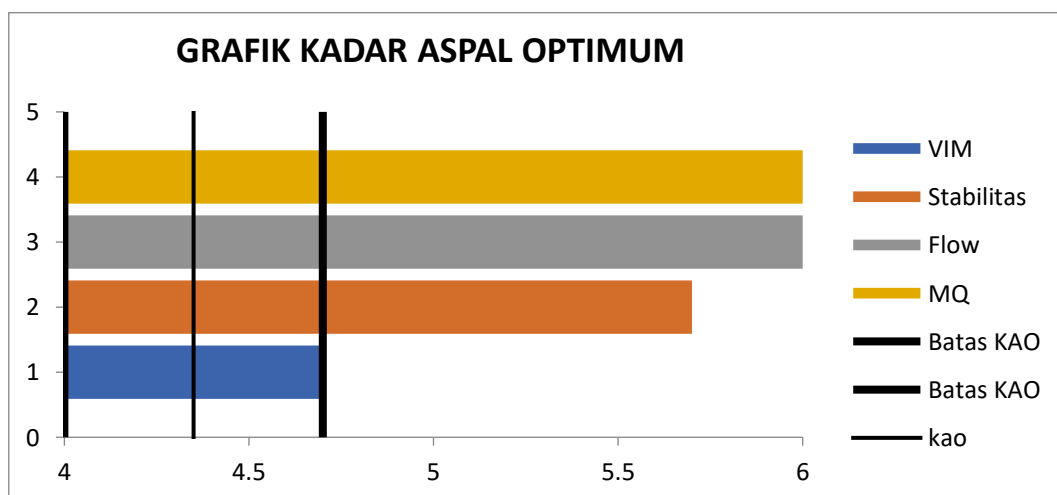
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.5%

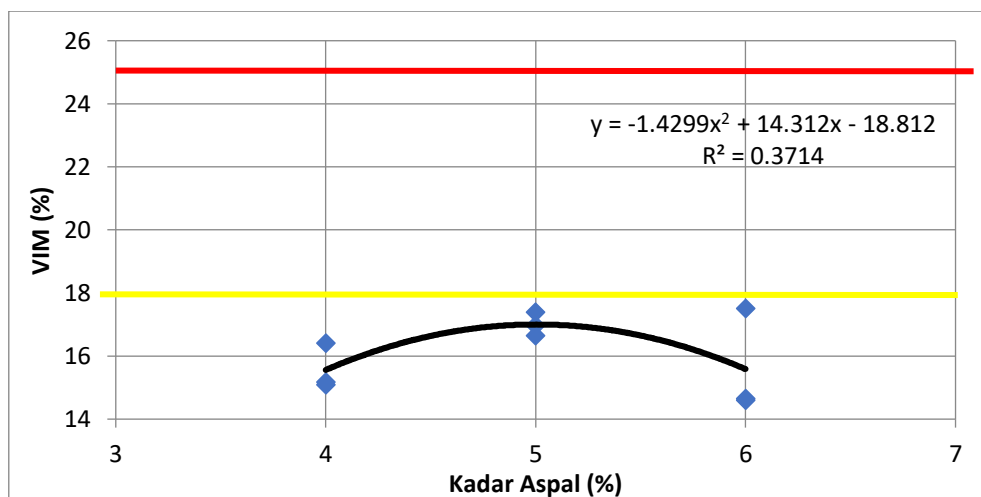


Gambar. Grafik Pita Pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,5 %

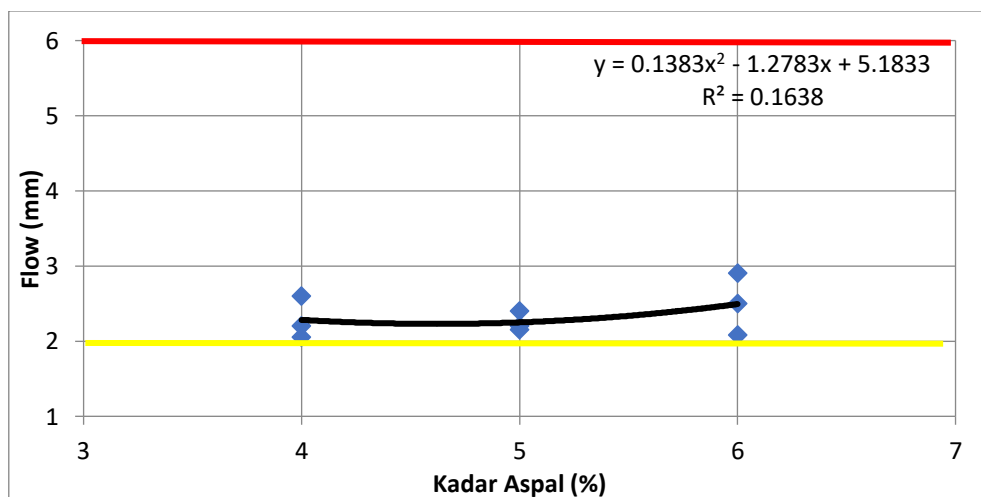
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 4,35%	Keterangan
VIM	18% - 25%	18,71	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	562,44	Memenuhi
Flow	2 - 6 mm	2,933	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	205,41	Memenuhi

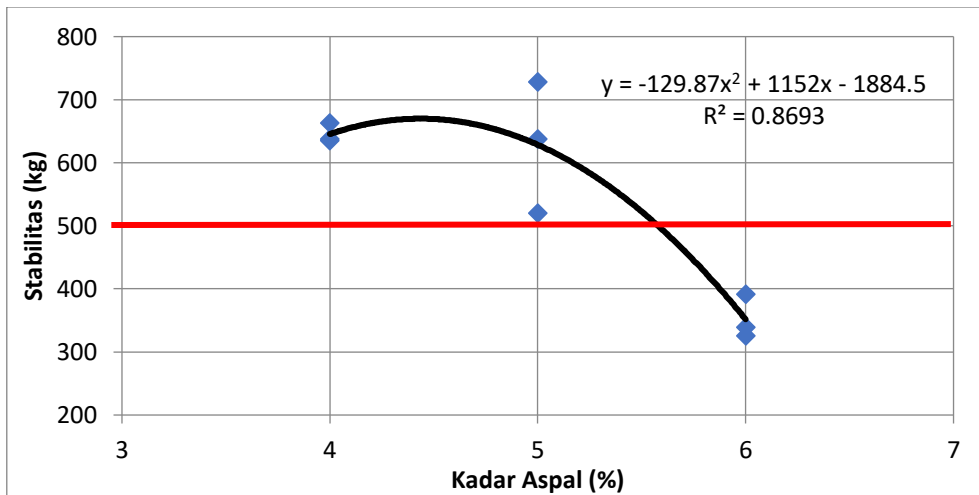
4.8 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut kelapa 0,75%



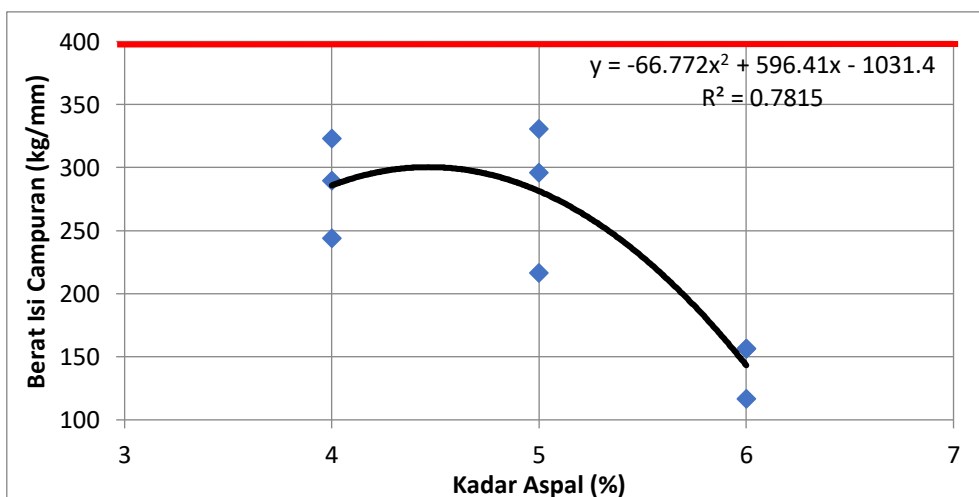
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



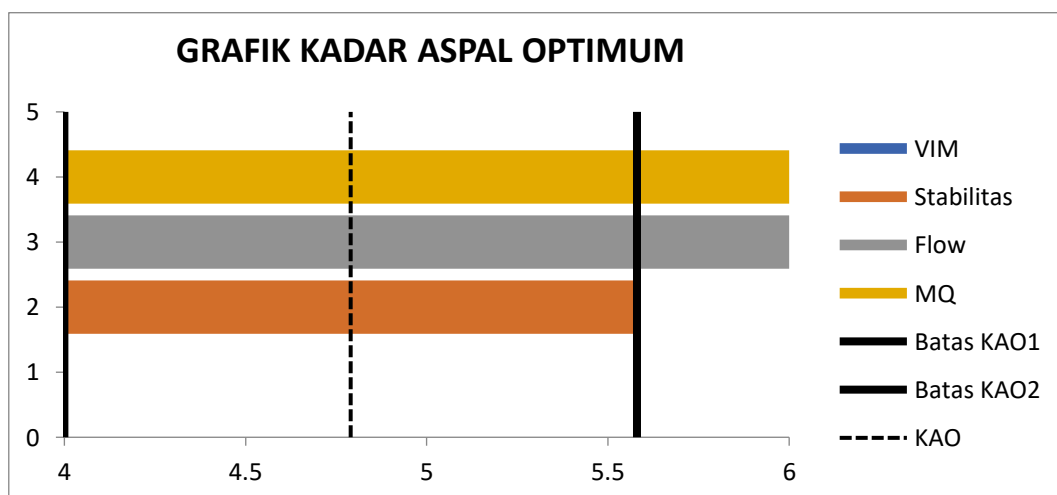
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0.75%

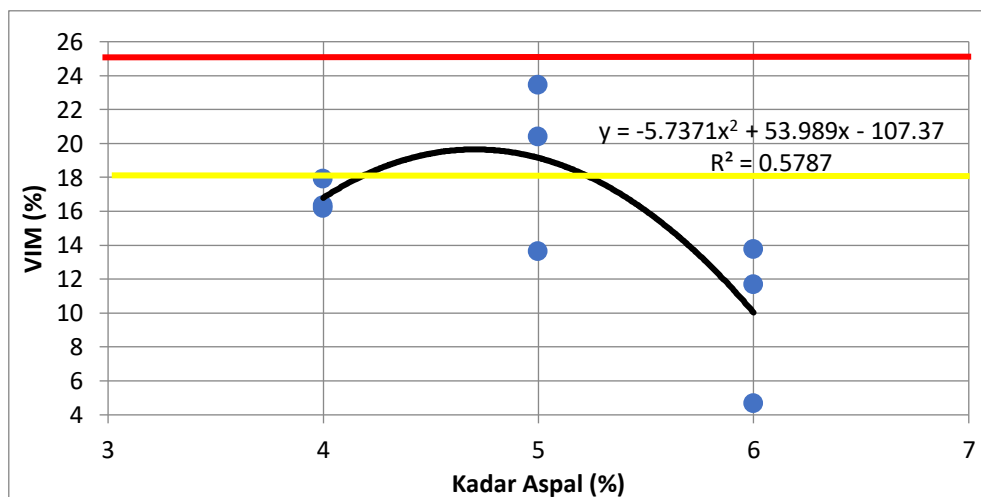


Gambar. Grafik Pita pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 0,75%

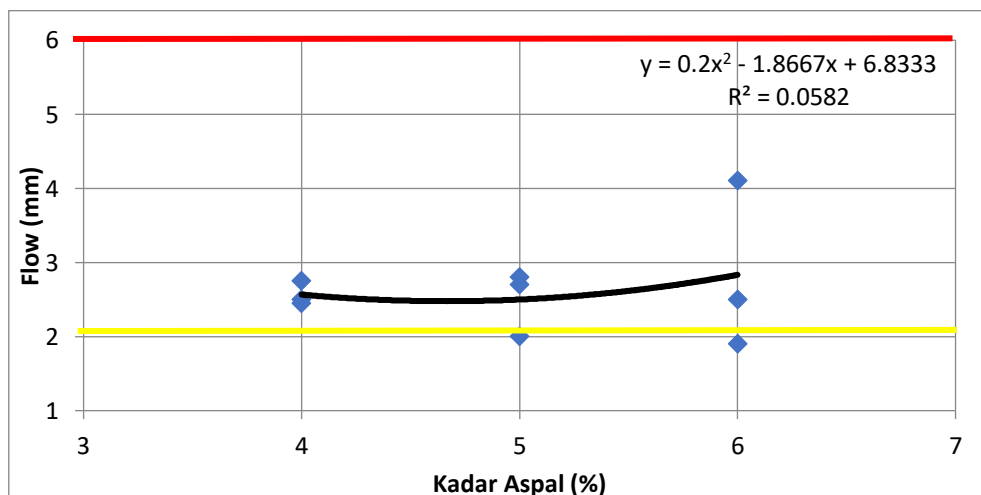
Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 4,79%	Keterangan
VIM	18% - 25%	16,935	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	669,235	Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,233	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	293,38	Memenuhi

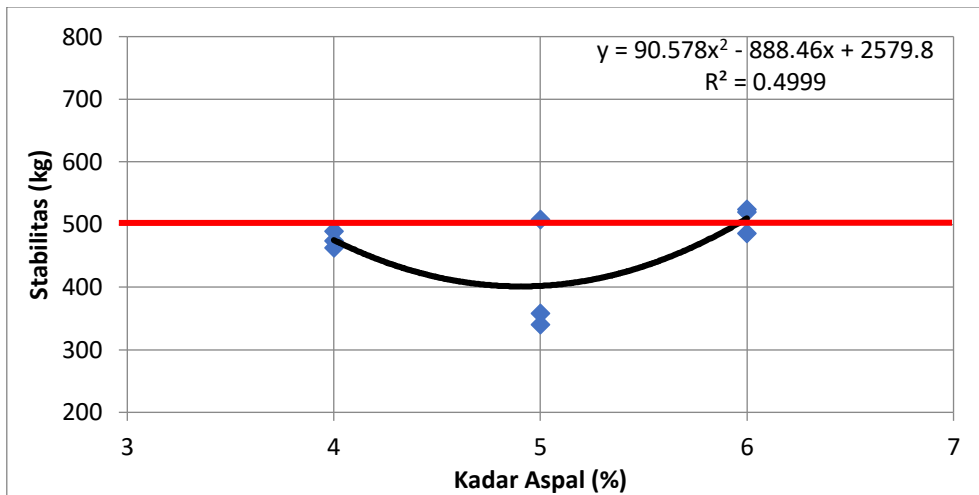
4.9 Hasil pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut kelapa 1%



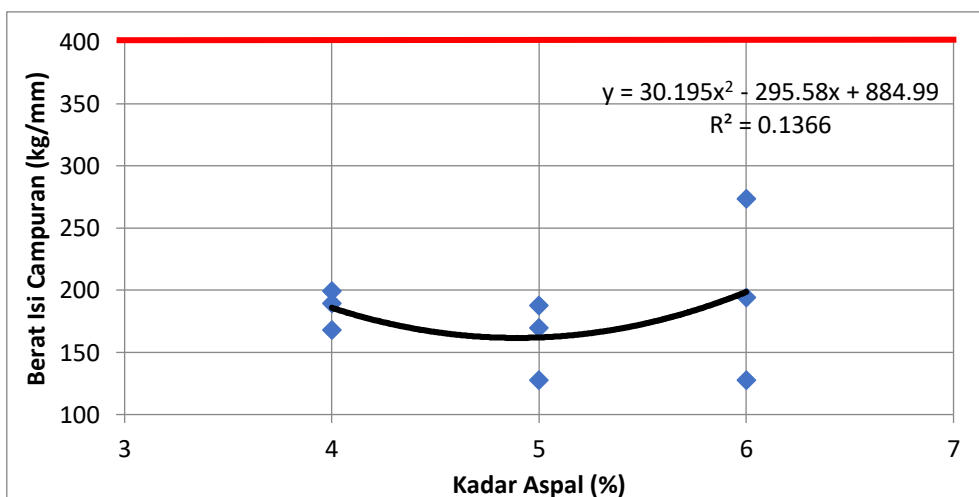
Gambar. Grafik Hubungan VIM pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



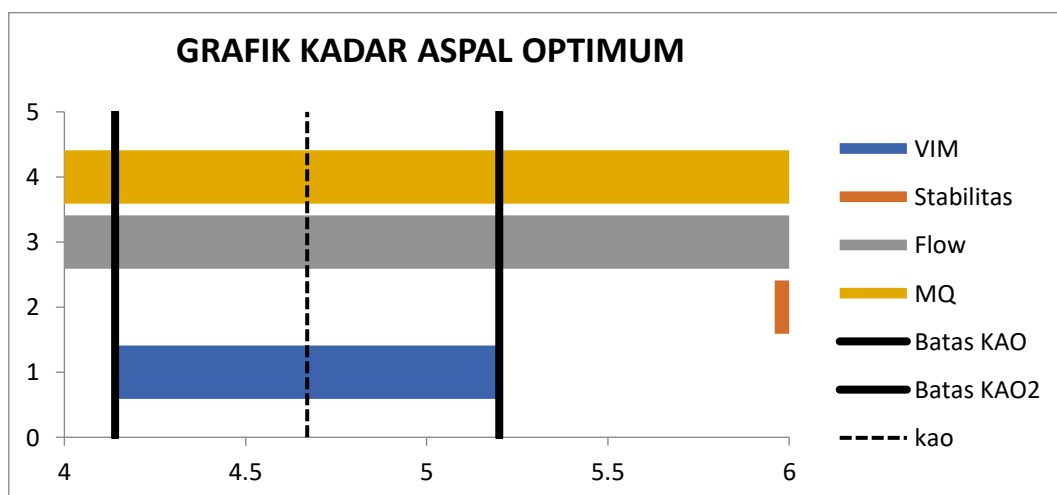
Gambar. Grafik Hubungan Flow pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar. Grafik Hubungan Stabilitas pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar. Grafik Hubungan MQ pada Panjang Serabut Kelapa 2.5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1%



Gambar. Grafik Pita pada Panjang Serabut Kelapa 2,5 mm dan Kadar Serabut Kelapa 1 %

Tabel. Rekap Hasil Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Karakteristik	Persyaratan Australia	Kadar Aspal Optimum = 4,67%	Keterangan
VIM	18% - 25%	19,539	Memenuhi
Stabilitas	>500 kg	406,098	Tidak Memenuhi
<i>Flow</i>	2 - 6 mm	2,478	Memenuhi
MQ	<400 kg/mm	163,151	Memenuhi